

**Universidad Católica de Santa María**  
**Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica,**  
**Mecánica Eléctrica y Mecatrónica**



**“DISEÑO DE UN MÓDULO PARA DESALINIZACIÓN POR PERVAPORACION  
PARA MEMBRANAS DE GRAFENO”**

Tesis presentada por el Bachiller:

**Machaca Condori, Edwin Rene**

Para optar por el Título Profesional de:

**Ingeniero Mecánico**

**Asesor:**

**Dr. Alcázar Rojas, Hermann Enrique**

**Arequipa- Perú**

**2019**



Universidad Católica  
de Santa María

AREQUIPA-PERÚ

(51 54) 382038 <http://www.ucsm.edu.pe> [facebook.com/ucsm.edu.pe/](https://www.facebook.com/ucsm.edu.pe/)

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA  
ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA**

**INFORME DICTAMINATORIO**

**VISTO**

EL BORRADOR DE TESIS TITULADO:

**“DISEÑO DE UN MODULO PARA DESALINIZACION  
POR PERVAPORACION PARA MEMBRANAS DE  
GRAFENO”**

Presentado por el Bachiller:

**MACHACA CONDORI EDWIN RENE**

Nuestro **DICTAMEN** es:

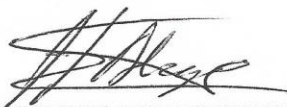
*Aprobado*

OBSERVACIONES: *Ninguna*

Arequipa, *21 noviembre* 2019



ING. MARCO CARPIO RIVERA



ING. HERMANN ALCAZAR ROJAS

## Dedicatoria

A Dios por darme la vida, por todo lo que me ha dado y por permitirme haber llegado hasta este momento en mi vida. A mis padres Roxana y Manuel, a quienes agradezco sus valores, enseñanzas, por todo el amor y confianza depositada en mí, a mi abuelita Avelina por su crianza y cariño, a mi tío Jhony, a mi prima Roxana, Jony a mis sobrinas por su cariño y a Juliana que me inspira a ser mejor cada día.



## Agradecimiento

PhD. Hermann Alcázar, por el planteamiento del presente proyecto, su confianza, su atenta asesoría y dirección a lo largo de su desarrollo.

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica por impartirme los conocimientos, que me permiten desarrollarme en mi vida profesional





## INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO .....	IV
INDICE DE CONTENIDO.....	V
INDICE DE FIGURAS.....	IX
INDICE DE TABLAS.....	XI
GLOSARIO/ABREVIATURAS.....	XIII
GLOSARIO .....	XIII
ABREVIATURAS.....	XV
RESUMEN.....	XVI
ABSTRACT.....	XVIII
INTRODUCCION .....	XX
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA .....	1
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.2.1 Objetivo General .....	3
1.2.2 Objetivos Específicos .....	3
1.3 ALCANCES .....	3
1.4 JUSTIFICACION.....	4
CAPITULO II MARCO TEORICO .....	7
2.1 TECNOLOGIAS DE MEMBRANAS ACTUALES PARA DESALINIZAR.....	7
2.1.1 Osmosis Inversa (RO) .....	8
2.1.2 Proceso de Destilación de Membrana (MD) .....	10
2.1.3 Proceso de Pervaporación (PV) .....	11
2.2 PROCESO DE DESALINIZACION POR PERVAPORACION (PV) .....	11
2.2.1 Proceso de transporte en las membranas de pervaporación.....	13

2.2.2 Membranas usadas para la desalinización por pervaporación.....	14
<b>2.3 DESALINIZACIÓN CON MEMBRANAS DE GRAFENO .....</b>	<b>16</b>
2.3.1 Membranas de grafeno .....	16
2.3.2 Nanofiltración con membranas de grafeno.....	18
<b>2.4 MÓDULOS DE MEMBRANA .....</b>	<b>20</b>
2.4.1 Módulos tubulares.....	20
2.4.2 Módulo capilar .....	21
2.4.3 Módulo de fibra hueca .....	21
2.4.4 Modulo de placa y marco .....	22
2.4.5 Módulos enrollados en espiral.....	23
<b>2.5 CONDICIONES DE OPERACIÓN .....</b>	<b>24</b>
2.5.1 Concentración de sal de alimentación .....	24
2.5.2 Presión .....	24
2.5.3 Temperatura de alimentación .....	25
2.5.4 Estabilidad de rendimiento .....	25
<b>2.6 ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO.....</b>	<b>26</b>
<b>2.7 RECOPIACIÓN DE ESTUDIOS REALIZADOS USANDO EL MÉTODO DE PERVAPORACIÓN .....</b>	<b>30</b>
<b>CAPÍTULO III DISEÑO DE MODULO DE DESALINIZACION.....</b>	<b>36</b>
3.1 ESQUEMA DEL MODULO .....	36
3.2 DISEÑO DEL MODULO .....	37
3.3 LISTA DE EXIGENCIAS Y DESEOS .....	38
3.4 ESTRUCTURA DE FUNCIONES.....	40
3.5 MEMORIA DE CALCULO .....	42
3.5.1 Potencia necesaria para el precalentamiento en línea .....	42
3.5.2 Diseño del módulo de la membrana .....	43
3.5.3 Diseño del sistema de Condensación .....	46

1) Condiciones de diseño.....	46
2) Coeficiente de transferencia de calor convectivo del vapor a 90°C .....	47
3) Coeficiente de convectivo del refrigerante a R-134 <sup>a</sup> a 5°C.....	48
4) Coeficiente de convección del vapor.....	49
5) Hallamos la longitud del intercambiador de calor .....	50
6) Potencia del compresor para el sistema de condensación .....	51
3.5.4 Diseño del sistema de enfriamiento .....	53
1) Condiciones de la salmuera a enfriar.....	53
2) Coeficiente de transferencia de calor convectivo de la salmuera a 80°C...54	
3) Coeficiente de convección del refrigerante a R-134 <sup>a</sup> a 10°C .....	55
4) Coeficiente de conductividad térmica del tubo interno.....	57
5) Longitud del intercambiador de calor .....	57
3.5.5 Resultado de la simulación de los procesos que conforman el modulo .60	
<b>CAPÍTULO IV SELECCIÓN DE EQUIPOS Y PRESUPUESTO DEL PROYECTO .71</b>	
4.1 BOMBA DOSIFICADORA DE LA SERIE E DE LA MARCA IWAKI.....	71
4.2 EQUIPO DE CALENTAMIENTO INDUCTIVO PORTABLE .....	72
4.3 HORNO CALENTADOR.....	73
4.4 SISTEMA DE CONDENSACIÓN DE VAPOR .....	73
4.4.1 Intercambiador de calor coaxial de 1.7 kw .....	73
4.5 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE SALMUERA .....	75
4.5.1 Intercambiador de calor coaxial de 3.5 kw .....	75
4.6 BOMBA DE VACÍO .....	76
4.7 VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN .....	78
4.8 INSTRUMENTACIÓN .....	79
4.8.1 Termocupla para salmuera .....	79
4.8.2 Termocupla para agua.....	80
4.8.3 Sensor de presión.....	80



4.8.4 Manómetro de PVC (policloruro de vinilo) para salmuera .....	81
4.8.5 Manómetro para agua .....	82
4.8.6 Flujo metro para salmuera.....	83
4.8.7 Accesorio para instalación de flujo metro electromagnético .....	84
4.8.8 Flujo metro para agua .....	85
4.9 PRESUPUESTO DE INSTRUMENTACIÓN .....	86
4.10 TUBERÍAS Y ACCESORIOS.....	86
4.11 PRESUPUESTO DEL PROYECTO .....	87
CONCLUSIONES.....	89
RECOMENDACIONES .....	90
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	91
ANEXO A INSTALACIÓN DE EQUIPOS .....	93
ANEXO B FICHAS TÉCNICAS DE EQUIPOS .....	102
ANEXO C PLANOS DE INSTALACIÓN DE EQUIPOS DEL MODULO .....	120
ANEXO D PROGRAMACION DE SIMULACION EN ESS (ENGINEERING EQUATION SOLVER).....	121



## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1: Presión osmótica vs. salinidad a diferentes temperaturas .....</b>	<b>9</b>
<b>Figura 2.2: Esquema de la desalinización por destilación de membranas .....</b>	<b>10</b>
<b>Figura 2.3: Esquema experimental de un módulo de pervaporación .....</b>	<b>12</b>
<b>Figura 2.4: Proceso de desalinización en un membrana .....</b>	<b>13</b>
<b>Figura 2.5: Análisis computacional del flujo de agua a través de los nanoporos del grafeno. ....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 2.6: Nanocanales en una membrana en la desalinización .....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 2.7: Esquema de desalinización en una membrana de grafeno.....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 2.8: Simulación de (a) nanoporos hidrogenados y (b) hidroxilados sobre una capa de grafeno a una escala de 1 Å. ....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 2.9: Representación esquemática del módulo de membrana tubular y el módulo de membrana capilar.....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 2.10 : Representación esquemática de módulo de membrana de fibra hueca.....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 2.11: Representación esquemática del módulo de membrana de placa y marco, módulo en espiral.....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 2.12: Esquema del proceso de pervaporación en modo de recirculación. ....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 2.13: Desglose del requerimiento energético para pervaporación.....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 2.14: Ejemplo de descomposición de energía térmica y eléctrica para la pervaporación.....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 3.1: Esquema de módulo de desalinización.....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 3.2: Esquema de funcionamiento del modulo.....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 3.3: Esquema del diseño del modulo.....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 3. 4: Esquema del sistema de condensación de vapor.....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 3. 5: Esquema del sistema de enfriamiento de salmuera.....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 3. 6: Diagrama de condensador de vapor.....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 3. 7: Ciclo de refrigeración del sistema de condensación.....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 3. 8: Diagrama del enfriador de salmuera.....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 3. 9: Ciclo de refrigeración del sistema de enfriamiento de salmuera.....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 3. 10: Caudal de ingreso de salmuera VS flujo másico de vapor.....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 3. 11: Caudal de ingreso de alimentacion VS caudal de condensado.....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 3. 12: Caudal de alimentación VS Potencia del sistema de condensación.....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 3. 13: Caudal de alimentación VS potencia del compresor del condensador...</b>	<b>62</b>
<b>Figura 3. 14: Caudal de alimentación VS Longitud del condensador.....</b>	<b>63</b>

<b>Figura 3. 15: Caudal de ingreso de salmuera VS flujo másico de salmuera de salida....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 3. 16: Caudal de alimentación VS Potencia del enfriador.....</b>	<b>.64</b>
<b>Figura 3. 17: Caudal de alimentación VS Potencia del compresor del enfriador.....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 3. 18: Caudal de alimentación VS longitud del enfriador.....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 3. 19: Potencia calorífica VS Flujo másico de vapor.....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 3. 20: Potencia calorífica VS Potencia del condensador.....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 3. 21: Potencia calorífica de calentamiento VS Potencia del compresor del condensador.....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 3. 22: Potencia calorífica de calentamiento VS Flujo másico de salida de salmuera a alta temperatura.....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 3. 23: Potencia calorífica de calentamiento VS Potencia del enfriador de salmuera.....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 3. 24: Potencia calorífica de calentamiento VS Potencia del compresor del enfriador.....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 3. 25: Presión de bombeo VS Flujo másico de vapor.....</b>	<b>70</b>
<b>Figura 3. 26: Presión de bombeo VS flujo másico de salmuera de salida.....</b>	<b>70</b>
<b>Figura 4. 1: Bomba Dosificadora.....</b>	<b>71</b>
<b>Figura 4. 2: Equipo de calentamiento inductivo.....</b>	<b>72</b>
<b>Figura 4. 3: Horno de laboratorio.....</b>	<b>73</b>
<b>Figura 4. 4: Vista superior de Intercambiador de calor de 1.7 KW.....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 4. 5: Vista Frontal de Intercambiador de calor de 1.7 KW.....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 4. 6: Vista superior de Intercambiador de calor de 3.5 KW.....</b>	<b>76</b>
<b>Figura 4. 7: Vista Frontal de Intercambiador de calor de 3.5 KW.....</b>	<b>76</b>
<b>Figura 4. 8: Bomba de vacío.....</b>	<b>77</b>
<b>Figura 4. 9: Regulador de presión de diafragma.....</b>	<b>78</b>
<b>Figura 4. 10: Termocupla para salmuera.....</b>	<b>79</b>
<b>Figura 4. 11: Termocupla para agua.....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 4. 12: Sensor de presión.....</b>	<b>81</b>
<b>Figura 4. 13: Manómetro de PVDF.....</b>	<b>82</b>
<b>Figura 4. 14: Manómetro para liquido (Agua).....</b>	<b>83</b>
<b>Figura 4. 15: Sensor de caudal electromagnético.....</b>	<b>84</b>
<b>Figura 4. 16: Tee de polipropileno.....</b>	<b>84</b>
<b>Figura 4. 17: Sensor de caudal para agua.....</b>	<b>85</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Membranas y su desempeño en la desalinización por pervaporación (PV) ...	15
Tabla 2.2: Tabla comparativa de estudios realizados en diferentes módulos de desalinización (1) .....	30
Tabla 2.3: Tabla comparativa de estudios realizados en diferentes módulos de desalinización (2).....	31
Tabla 2.4: Tabla comparativa de estudios realizados en diferentes módulos de desalinización (3).....	32
Tabla 3. 1: Lista de equipos.....	36
Tabla 3. 2: Lista de sensores .....	37
Tabla 3. 3: Parámetros de diseño del modulo.....	37
Tabla 3. 4: Lista de Exigencias y deseos.....	38
Tabla 3. 5: Condiciones de ingreso del vapor .....	46
Tabla 3. 6: Propiedades de ingreso de la salmuera.....	53
Tabla 4. 1: Condiciones de trabajo de la bomba dosificadora.....	71
Tabla 4. 2: Especificación técnica de la bomba dosificadora.....	71
Tabla 4. 3: Condiciones de trabajo del calentamiento inductivo.....	72
Tabla 4. 4: Costo de horno tubular .....	73
Tabla 4. 5: Costo del sistema de condensación de vapor.....	74
Tabla 4. 6: Condiciones de trabajo del sistema de enfriamiento de salmuera .....	75
Tabla 4. 7: Costo del sistema de enfriamiento de salmuera .....	75
Tabla 4. 8: Condiciones y costos de bomba de vacío .....	77
Tabla 4. 9: Condiciones de trabajo y costo de válvula reguladora de presión .....	78
Tabla 4. 10: Listado de termocuplas para salmuera y condiciones de trabajo .....	79
Tabla 4. 11: Listado de termocuplas para agua y condiciones de trabajo.....	80
Tabla 4. 12: Cantidad de sensores de presión y condiciones de trabajo .....	80
Tabla 4. 13: Manómetro para salmuera y condiciones de trabajo.....	81
Tabla 4. 14: Manómetro para líquidos y condiciones de operación .....	82
Tabla 4. 15: Sensor de caudal y condiciones de operación .....	84
Tabla 4. 16: Flujometro de agua y condiciones de operación.....	85
Tabla 4. 17: Listado de sensores de instrumentación y costos.....	86
Tabla 4. 18: Tuberías, válvulas y condiciones de operación.....	86
Tabla 4. 19: costo de accesorios para la instalación de instrumentación .....	87
Tabla 4. 20: Costo de fabricación de estructura .....	87



**Tabla 4. 21 : Presupuesto del proyecto .....88**





## GLOSARIO/ABREVIATURAS

### GLOSARIO

**Grafeno:** Es una capa del grafito compuesta por átomos de carbono en un patrón hexagonal

**Desalinización:** Es un proceso mediante el cual se elimina la sal del agua de mar o salobre

**Salmuera:** Es agua con una concentración de sal superior al 5 % (NaCl) disuelta.

**Membrana porosa:** Membrana que permite el paso de ciertas moléculas, debido al tamaño de los poros o a los iones que pase por ella.

**Membrana polimérica semipermeable:** Es una delgada película que permite el paso de las moléculas de agua, pero no de la sal (NaCl).

**Fuerza motriz:** Fuerza necesaria para llevar a cabo el proceso de desalinización, a través de la membrana

**Permeado:** Liquido producto de la desalinización que penetra a través de la membrana.

**Presión osmótica:** presión que se debe aplicar a una solución para que el flujo pase a través de una membrana semipermeable.

**Hidrófobo:** Material que es repelida por el agua o que no se puede mezclar con ella.

**Hidrofílico:** Material que capta el agua con facilidad

**Gradiente químico:** Dirección en la que seguirá la solución debido a un sentido que tratará del movimiento.

**Difusión:** Movimiento molecular que se realiza a través de la membrana.

**Permeación de vapor:** Vapor producto de la desalinización, que penetra a través de la membrana

**Precalentamiento:** Calentamiento previo al proceso de desalinización mediante membrana

**Tamizado molecular:** Selección que permite el paso de ciertas moléculas con carga

**Enlace hidrogeno:** Fuerza atractiva entre un ion de hidrogeno y nitrógeno, oxígeno o fluor.

**Enlace dipolo-dipolo:** Atracción electrostática entre el extremo positivo de una molécula polar y el negativo de otra.

**Oxido de grafeno:** Forma del grafeno, sintetizado a través de la oxidación y exfoliación del grafito.

**Nanofiltración:** Proceso mediante el cual se hace pasar un fluido a través de una membrana semipermeable donde se produce una separación de moléculas del tamaño molecular (entre 0.001 y 0.01 mm).

**Iones:** Partículas cargadas eléctricamente.

**Interacción Ion-dipolo:** Atracción entre los iones que pueden interactuar con los polos de moléculas covalentes.

**Intercambio iónico:** Intercambio de iones que se da en el proceso de desalinización.

**Transferencia de calor:** Propagación de calor, que se da hasta alcanzar un equilibrio térmico.

**Absorción:** Separación de la mezcla salina, que se da sobre la superficie de la membrana

**Anti incrustante:** Propiedad de la membrana que impide que la sal, se adhiera en los poros de la membrana

**Nanoporo Hidroxilado:** Nanoporo cargado negativamente que posee un grupo funcional hidroxilo, para el intercambio iónico.

**Nanoporo Hidrogenado:** Nanoporo cargado negativamente que posee un grupo funcional hidrogenado, para el intercambio iónico.

## ABREVIATURAS

Na Cl: Cloruro de sodio

RO: Osmosis Inversa

MD: Destilación de Membrana

PV: Proceso de pervaporación

TDS: Solidos totales disueltos

GO: Oxido de grafeno

NPI: acrónimo del inglés National Pipe Thread, “rosca nacional de tubos”. Esta es una noma técnica estadounidense

AISI: American Iron and Steel Institute/ Instituto Americano de Hierro y Acero

INOX: Acero Inoxidable

A°: Amstrong

OH: Grupo funcional hidroxilo

H: Grupo funcional hidrogeno



## RESUMEN

En los últimos años han surgido tecnologías para solucionar el problema de la falta agua a nivel mundial. La desalinización es una solución efectiva frente a esta situación, este proceso elimina selectivamente la sal de las diferentes fuentes hídricas que no son aptas para el consumo, así como para la industria tales como soluciones salobres, agua de mar, salmuera, etc.

La desalinización mediante membranas es un método que actualmente viene siendo bien aceptado, en comparación con los métodos de desalinización tradicionales, debido a las ventajas que presenta como: una alta eficiencia, ahorro energético, buena estabilidad operativa y un relativo bajo costo de implementación. Las tecnologías de desalinización mediante membranas son varias, pero recientemente el método de desalinización por pervaporación viene llamando la atención, debido a que este proceso permite un ahorro de energía significativo, y una de sus principales características es que su eficiencia de desalinización no disminuye cuando se incrementa la concentración salina de la solución que se quiere tratar. En este proceso las membranas juegan un papel muy importante, es por ello que se vienen innovando membranas de diferentes materiales que puedan optimizar el sistema, como es el caso del grafeno. Estudios recientes muestran que este material posee propiedades excelentes para la desalinización. Por ello diseñar un módulo que nos permita estudiar, comprender y a la vez hacer pruebas para conocer mejor las propiedades que nos brinda este material en la desalinización por pervaporación es importante.

Previamente al diseño del módulo se realiza una recopilación de los diferentes estudios e investigaciones realizadas con el método de pervaporación, para establecer los parámetros de funcionamiento, para llevar a cabo este diseño, con los parámetros críticos de operación, se realizó un análisis termodinámico de los diferentes subprocesos que conforman la



desalinización por pervaporación. Posteriormente se seleccionaron los diferentes equipos, la instrumentación necesaria para llevar a cabo el seguimiento de cada subproceso, así como el costo total del proyecto para poder llevar a cabo su implementación. Por ultimo para poder realizar la instalación de los equipos, instrumentación y accesorios, se plasmaron en planos para una posterior implementación.

**Palabras claves:** Desalinización mediante membranas, pervaporación, módulo, membranas de grafeno, eficiencia, ahorro energético, rechazo de sal.



## ABSTRACT

In recent years, technologies have emerged to solve the problem of lack of water worldwide. Desalination is an effective solution to this situation, this process selectively removes salt from different water sources that are not suitable for consumption, as well as for industry such as brackish solutions, seawater, brine, etc.

Membrane desalination is a method that is currently being well accepted, compared to traditional desalination methods, due to the advantages it presents as: high efficiency, energy savings, good operational stability and a relatively low implementation cost. Membrane desalination technologies are several, but recently the pervaporation desalination method has been attracting attention, because this process allows significant energy savings, and one of its main characteristics is that its desalination efficiency does not decrease when Increase the salt concentration of the solution to be treated. In this process the membranes play a very important role, which is why they are innovating membranes of different materials that can optimize the system, such as graphene. Recent studies show that this material has excellent properties for desalination. Therefore, designing a module that allows us to study, understand and at the same time make tests to better understand the properties that this material offers us in pervaporation desalination is important.

Prior to the design of the module, a compilation of the different studies and investigations carried out with the pervaporation method is carried out, to establish the operating parameters, to carry out this design, with the critical operating parameters, a thermodynamic analysis of the different threads that make up pervaporation desalination. Subsequently, the different teams were selected, the necessary instrumentation to carry out the monitoring of each subprocess, as well as the total cost of the project to carry out its implementation. Finally, in order to install

the equipment, instrumentation and accessories, they were captured in plans for later implementation.

**Keywords:** Desalination by membranes, pervaporation, modulus, graphene membranes, efficiency, energy saving, salt rejection.





## INTRODUCCION

En la actualidad la diversidad de técnicas para desalinizar el agua son muchas, las hay desde las más tradicionales hasta las que tienen un proceso aún más complejo. Cada método se diferencia uno del otro debido a su eficiencia, consumo energético, porcentaje de rechazo de sal, costo de instalación y control del proceso. Los métodos para desalinizar más usados actualmente, son los que emplean membranas para llevar a cabo este proceso, dentro de estos tenemos: La osmosis inversa (RO), en la que se necesita altas presiones para vencer la presión osmótica del fluido. La destilación de membranas (MD), donde se da la evaporación térmica del fluido y la membrana sirve como una barrera entre la zona de alimentación y la zona de permeado de vapor. La pervaporación (PV), donde se calienta el flujo de alimentación y la membrana juega un papel importante, seleccionando y permitiendo el paso de flujo de agua y el vapor. Estos diferentes métodos de desalinización poseen distintas variables que deben ser controladas para tener una buena eficiencia, tales como: la presión de bombeo del flujo hacia el módulo de membrana, la temperatura de precalentamiento o calentamiento según sea el caso, en el caso de obtener vapor como producto, condensación del vapor para poder cuantificar la eficiencia del proceso. así como una adecuada instrumentación para el seguimiento del proceso de desalinización.

Actualmente el proceso más empleado para desalinizar es la osmosis inversa debido a que tiene un costo relativamente bajo, pero a concentraciones elevadas de sal este proceso ya no es factible, debido a que necesita presiones altas para vencer la presión osmótica del fluido. Por otra parte, el método de pervaporación actualmente está cobrando importancia debido a que presenta las siguientes características, las presiones de bombeo en comparación con el método de osmosis inversa son bajas, esto nos permite una mejor estabilidad del sistema, un consumo energético menor, además este consumo puede ser aún menor si usamos otras fuentes de calor



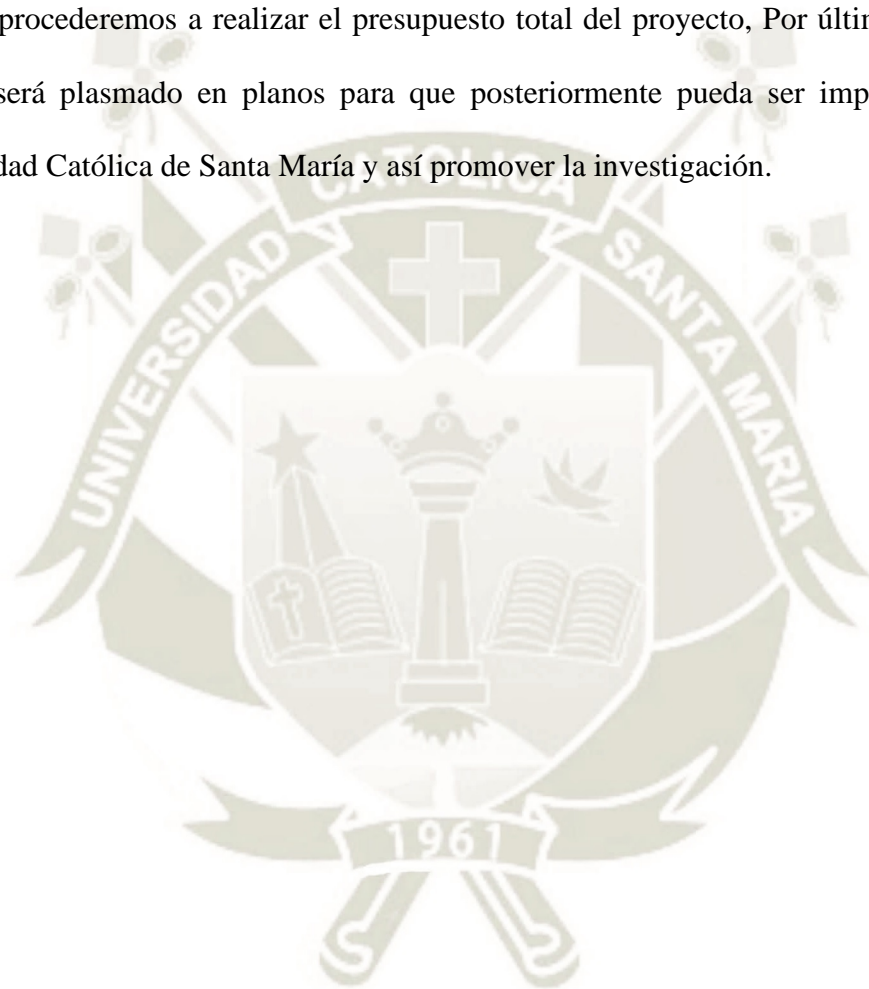
como la energía solar o un intercambiador de calor y la característica más resaltante, es que posee una alta eficiencia de desalinización de flujo con concentraciones elevadas de sal con un bajo consumo energético en comparación con la osmosis inversa (RO), esto se debe a que la pervaporación usa membranas para realizar una selección molecular, el porcentaje de rechazo de sal con estas membranas es muy elevado, como es el caso de las membranas de grafeno.

En los estudios recientes acerca de las propiedades del grafeno en el campo de la desalinización se pudo observar lo siguiente, este material presenta propiedades mecánicas resistentes elevadas en comparación de otras membranas, permite la nanofiltración de la salmuera a través de los nanoporos que posee esta membrana, estos ayudan a incrementar el flujo de una manera considerable, debido a esto y a otras características que posee el grafeno podrían hacer que el proceso de desalinización por pervaporación sea más eficiente.

Por ello diseñar un módulo para realizar diferentes pruebas, que nos permita obtener resultados para estudiar y comprender mejor el método de pervaporación, es importante y para obtener un mejor control de proceso debemos de tener control de las variables físicas que afectan a este proceso de desalinización. Con esto se pretende estudiar el comportamiento, así como las diferentes bondades que nos puede brindar las membranas de grafeno en la desalinización por pervaporación, para que la tecnología de desalinización sea más eficiente y más amigable con el medio ambiente, es decir se reduzca el consumo energético

Por ello en el capítulo I, se plantea la problemática, se indican los objetivos, la justificación y los alcances que contempla el proyecto, en el capítulo II se describe los métodos de desalinización actualmente usados a nivel mundial, una descripción de cómo se lleva a cabo la desalinización con el método de pervaporación, estudios recientes donde se emplean las

membranas de grafeno para desalinizar. En el capítulo III, se plantea el esquema del módulo, así como los parámetros de diseño, además se realiza el análisis de las diferentes partes que conforma el módulo de desalinización. Con el análisis concluido se procede a seleccionar los equipos que conforman el módulo como se describe en el capítulo IV, teniendo en cuenta el estudio previamente realizado. Con los equipos seleccionados que conformaran nuestro modulo, procederemos a realizar el presupuesto total del proyecto, Por último, el diseño del módulo será plasmado en planos para que posteriormente pueda ser implementado en la Universidad Católica de Santa María y así promover la investigación.



## CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Actualmente el mundo entero se enfrenta al desafío del abastecimiento del agua, debido a la creciente demanda constante tanto para la industria, así como para el consumo humano. Ante este déficit del recurso hídrico se aprovecha el agua de mar que es la fuente de agua más abundante en el planeta, es por ello que la desalinización es una solución frente a esta necesidad, en los últimos años las innovaciones que se vienen dando son prometedoras, los avances en la ciencia y la ingeniería brindan oportunidades para desarrollar procesos de purificación de agua más rentables y ambientalmente aceptables.

Las tecnologías que se emplean actualmente son las que ofrezcan mayores beneficios tanto económicos y ambientales. En el aspecto económico un menor costo de agua, en cuanto a la parte ambiental, un menor consumo energético y más eficiente proceso al momento de realizar la desalinización.

Por ello la desalinización mediante membranas es uno de los procesos más usados en todo el mundo, este método además presenta ventajas como, un alto rechazo de sal, ahorro energético, frente a los métodos tradicionales de desalación este proceso es más eficiente energéticamente hablando. Recientemente los estudios e investigaciones muestran que los nanomateriales tienen una serie de propiedades fisicoquímicas que los hacen cada vez más atractivos como medios de separación para la purificación del agua. Estos nanomateriales hacen que sea posible la nanofiltración, la cual presenta características como, una menor presión debido a que el tamaño del poro es mayor, eliminación de los sólidos disueltos totales, eliminación de cationes, materia orgánica natural, contaminantes biológicos, contaminantes orgánicos, nitratos y arsénico del agua, con este proceso de nanofiltrado se obtendría agua más



pura. Uno de los nanomateriales que actualmente se viene siendo investigado es la lámina de grafeno, esta es una capa bidimensional que consta de átomos de carbono, estudios y pruebas recientes muestran que esta capa de grafeno puede considerarse como una membrana ideal para la desalinización, debido a las propiedades físico-químicas que presenta, así como la buena estabilidad química que posee, su pequeño espesor permite un mayor paso de flujo de agua, en comparación con otras membranas (Walaa, 2012). El agua obtenida por desalinización a través de la membrana de grafeno ha sido probada química y biológicamente. Todas las pruebas químicas se han llevado a cabo de acuerdo con los protocolos internacionales para determinar la calidad del agua, tales como: salinidad, pH, prueba de oxígeno disuelto, dureza, contenido de metales pesados y la cantidad total de iones de fosfato, sulfato y carbonato. El resultado indica que el agua obtenida es totalmente pura y libre de sales, iones metálicos y metales pesados.(Walaa, 2012).

Recientemente en el estudio realizada por (Qian, Li, Wang, & Ji, 2018) se comprobó el efecto del grafeno en una membrana de quitosan, dando como resultado el mejoramiento de la membrana en la desalinización, mejorando el rechazo de sal que fue del 99.99%, este estudio nos muestra que el rendimiento de la membrana no se vio afectado frente a un incremento de la concentración de sal en la solución salina. Además de un mejoramiento en el rechazo de sal, el flujo de agua obtenido a partir de la desalinización con membranas de grafeno se incrementó como lo describe el estudio realizado por (Bhadra, Roy, & Mitra, 2016).

Considerando la parte operativa, la nanofiltración con grafeno se realiza a presiones bajas (70-140 psi) (Walaa, 2012), es decir tiene una buena estabilidad operativa de trabajo, desalinizar a presiones bajas supone trabajar con mayor seguridad, y una reducción de consumo energético importante.

Es así que el grafeno brinda muchos beneficios en el campo de la desalinización, que es lo que hace que este material sobresalga, en comparación de las membranas de otros materiales. Por ello que recientemente se están realizando diversas investigaciones para estudiar qué beneficios adicionales se pueden obtener del grafeno en el campo de la desalinización.

Debido a estas características que presentan las membranas de grafeno, son usadas para desalinizar agua. Por lo cual se busca diseñar un módulo que permita realizar pruebas de desalinización, con estas membranas usando el método de pervaporación, para que en un futuro se pueda realizar un estudio e identificar el comportamiento de las membranas de grafeno en el método de pervaporación. Y aportar a que las tecnologías de membranas para desalinizar el agua sean cada vez más eficientes.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo General**

Diseñar un módulo de desalinización por pervaporación, para membranas de grafeno.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Diseño de un módulo de desalinización que emplee el método de pervaporación.

Realizar la selección de los componentes y accesorios que forman parte del módulo.

Realizar la evaluación de costos para la implementación del módulo de desalinización.

## **1.2 ALCANCES**

En este proyecto se realizará una recopilación de los diferentes estudios e investigaciones que se realizaron empleando método de pervaporación, para así poder entender cómo se lleva a cabo dicho proceso, además de la identificación de cuáles son los factores o situaciones que puedan tener una considerable consecuencia en la desalinización por pervaporación. Como la membrana juega un papel clave en el método de pervaporación, se estudiará el proceso de como

las membranas de grafeno llevan a cabo la desalinización, además de las consideraciones que debemos de tener en cuenta para que estas sean incorporadas al diseño del módulo.

Por lo tanto, el proyecto comprende un previo estudio del método de desalinización por pervaporación, así como de las membranas de grafeno con la finalidad de realizar un óptimo diseño. Asimismo, la adecuada selección de equipos y accesorios para poder implementarlo.

#### **1.4 JUSTIFICACION**

En la actualidad a nivel mundial se está enfrentando una crisis hídrica, es decir existe una necesidad de agua ya sea tanto para el consumo humano, así como para el sector industrial. Frente a esta problemática la tecnología de desalinización es la solución más idónea para revertir esta situación que se viene dando, dentro de los diferentes métodos de desalinización que existen, están las tecnologías de desalinización mediante membranas, estos procesos de desalinización son los más empleados a nivel mundial debido a las ventajas que ofrecen frente a los métodos tradicionales.

Dentro la tecnología de membranas tenemos a la desalinización mediante la osmosis inversa, actualmente es el método más empleado para llevar a cabo la desalinización. Este se emplea aproximadamente en el 50% de las plantas de desalinización en el mundo, esto a un costo relativamente bajo. Como la osmosis inversa es impulsado por una presión mecánica que es mayor que la presión osmótica de la solución de alimentación. Por esta razón es difícil desalinizar una solución de alimentación de alta concentración de sal. Es por ello que recientemente la desalinización por pervaporación se viene utilizando para el tratamiento de agua con un alto TDS (solidos totales disueltos).



En este proceso de desalinización por pervaporación, la membrana juega un papel clave, es por ello que se viene estudiando diferentes materiales para mejorar este proceso, recientemente con el descubrimiento del grafeno se vienen estudiando las diferentes propiedades que este material posee para la aplicación en los diferentes campos de investigación, y la desalinización no es la excepción, ya que puede mejorar el proceso de desalinización haciéndolo más eficiente debido a las características mecánicas, físico- químicas que presenta. Algunas de estas características son las siguientes, propiedades antiincrustantes ya que permite un mayor tiempo de desalinización. La característica más sobresaliente que debemos de tener en cuenta es que la nanofiltración con el grafeno permite un rechazo de sal de casi el 100% esto debido a la alta selectividad de los nanoporos que poseen las membranas.

Entonces con el diseño de este módulo se pretende investigar para llevar a cabo el proceso de desalinización por pervaporación para que este método sea más eficiente energéticamente hablando, además aprovechar y estudiar las bondades que nos ofrece el grafeno en la desalinización a través de la nanofiltración, permitirá que en el futuro la eficiencia de este proceso mejore, además que el costo del agua a partir de agua de mar sea más barata tanto para el consumo humano como para la utilización industrial.

Por lo tanto, este proyecto estará centrado en realizar el diseño de un módulo de desalinización por pervaporación que nos permita conocer mejor este método, así como un análisis de las diferentes partes del proceso. Este módulo nos permitirá realizar pruebas con las membranas de grafeno, para poder estudiar sus propiedades, características. Además de conocer el consumo energético, eficiencia de desalación de todo el proceso de desalinización con membranas de grafeno. Para poder evaluar así las diferentes ventajas de estas membranas frente las membranas de otro material.

Es así que el método desalinización por pervaporación con membranas de grafeno, es un proceso prometedor, para la obtención de agua partir de salmuera. Debido a sus propiedades de bajo consumo energético, una alta eficiencia de rechazo de sal, buena estabilidad operativa.



## CAPITULO II MARCO TEORICO

### 2.1 TECNOLOGIAS DE MEMBRANAS ACTUALES PARA DESALINIZAR

Con el aumento de la población a nivel mundial, viene un incremento en la demanda de agua, esta escases se viene dando en diferentes partes del mundo, por ello se vienen tomando algunas medidas de control ante esta problemática, tales como la reducción de pérdidas en la distribución de agua, uso de agua reciclada, etc. Estas medidas pueden ayudar a esta problemática, pero aún no son suficientes para hacer frente a este déficit, como respuesta ante esta necesidad nace la desalinización, que viene siendo estudiada en los últimos años, como la solución a este problema. Actualmente existen diferentes procesos de desalinización que se llevan a cabo a nivel mundial tales como: los procesos mecánicos, térmicos, químicos, etc.

Dentro de los procesos de desalinización térmico, químico, tenemos el método mediante membranas, este método usa membranas para poder llevar a cabo este proceso de desalinización. Estas membranas son películas delgadas de material poroso que permite el paso de las moléculas de agua a través de ella, pero a la vez impide el paso de moléculas grandes que no son deseadas para el consumo como son, los virus, bacterias, metales, y sales. Las membranas están hechas de una amplia variedad de materiales tales como materiales poliméricos que incluyen celulosa, acetato, nylon, etc. Esta tecnología de desalinización mediante membranas son una eficiente manera de resolver el problema de la escasez de agua dulce que se vive actualmente en el mundo, por lo que es aceptada como una solución eficiente y presenta un posible ahorro de energía, en comparación de los métodos tradicionales de desalinización, que se venían empleando en años anteriores. Además, tiene muchas ventajas como una alta estabilidad operativa, bajo consumo energético, bajos costos químicos, fácil integración y control de proceso(Wang, Li, Bolto, Hoang, & Xie, 2016).



Dentro de esta tecnología mediante membranas, los procesos más empleados actualmente son: la osmosis inversa, destilación mediante membranas, pervaporación, a continuación, se hace una breve descripción de cada proceso que forma parte de la tecnología de membranas.

### **2.1.1 Osmosis Inversa (RO)**

Actualmente aproximadamente el 60% de las plantas de desalinización instaladas en el mundo, son plantas desalinizadoras de osmosis inversa. El principio de desalinización de este proceso se debe a que con el paso del agua se crea un gradiente de presión osmótica a través de la membrana, la desalinización en si se lleva a cabo como una consecuencia de una presión mecánica mayor a la presión osmótica de la solución salina (Wang et al., 2016). Según el estudio realizado por la UNESCO (Walaa, 2012), este método es usado para desalinizar concentración de hasta 4500 mg/ L, es decir puede desalinizar agua salobre y agua de mar.

Teniendo en cuenta un análisis energético realizado por (Wang et al., 2016), el uso generalizado de la osmosis inversa se debe a su menor consumo de energía, menor costo con respecto a las centrales térmicas convencionales, ya que este método permite desalinizar a través de una tecnología más eficiente energéticamente hablando y con menos emisión de CO<sub>2</sub>.

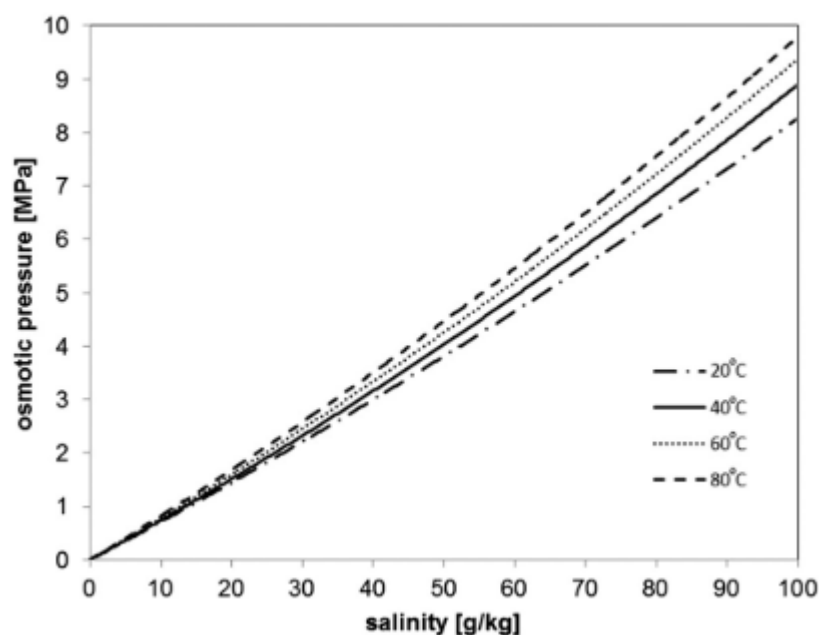


Figura 2.1: Presión osmótica vs. salinidad a diferentes temperaturas

Fuente: (Kaminski et al., 2018)

Como se dijo anteriormente para que se dé la desalinización por osmosis inversa la presión de bombeo debe ser mayor a la presión osmótica de la solución salina. En la figura 2.1 se muestra los cambios en la presión osmótica vs la concentración de sal a diferentes temperaturas. Como se puede ver la presión osmótica aumenta con el incremento de la temperatura, esto quiere decir que la fuerza motriz disminuye.

Por otro lado, un aumento de la temperatura mejora la transferencia de masa agua hacia la membrana.(Kaminski, Marszalek, & Tomczak, 2018). Además, se puede ver que cuando aumenta la concentración de sal, la presión osmótica también aumenta, esta es una de las desventajas de este proceso, ya que se necesitaría presiones más elevadas para llevar acabo la desalinización, por lo que las bombas son los activos más costosos de este proceso de desalinización.

### 2.1.2 Proceso de Destilación de Membrana (MD)

La desalinización mediante el proceso de destilación de membrana está basado en la evaporación térmica, donde la membrana sirve como una barrera entre el flujo de alimentación caliente y el permeado, en este proceso a medida que la solución salina caliente pasa al lado de alimentación de la membrana, esta es transformada parcialmente en vapor como se puede ver en la Figura 2.2, este vapor previamente formado pasa a través de los poros de la membrana.

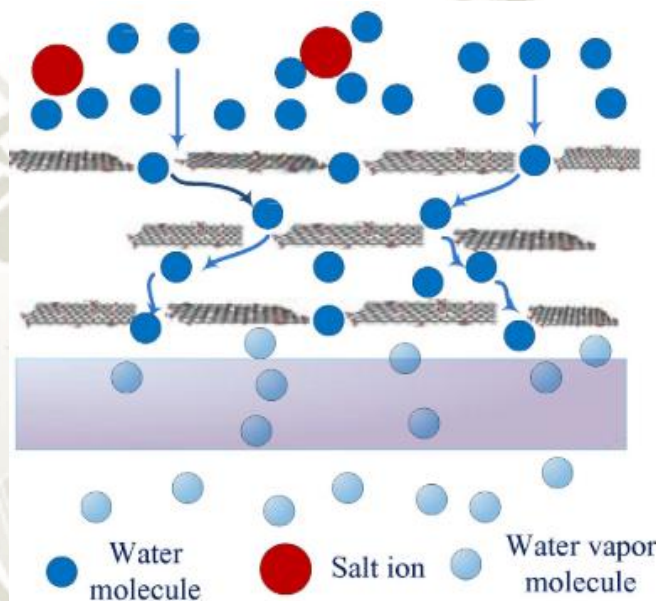


Figura 2.2: Esquema de la desalinización por destilación de membranas

Fuente: (Bhadra et al., 2016)

Como se puede observar en la figura 2.2, la membrana es la clave para el flujo y la selectividad, es por ello el desarrollo de una arquitectura de membrana es de gran importancia para mejorar el rendimiento del proceso (Bhadra et al., 2016).

Para mejorar la eficiencia energética, el calor retirado para la condensación se puede usar para precalentar la solución de alimentación, esto minimizaría el requerimiento de calor y mejoraría el costo de operación. Según (Alkhudhiri, Darwish, & Hilal, 2012) esto mejoraría el rendimiento en un 8%, este mejoramiento también depende del área del intercambiador de calor y de la membrana.



### 2.1.3 Proceso de Pervaporación (PV)

La pervaporación es otro proceso de desalinización de membrana que ha llamado la atención cada vez más en los últimos años.

En este método, la solución de alimentación permeable pasa a través de una densa membrana porosa, una parte de la solución salina es filtrada por la membrana y la otra parte se tiende a evaporar aguas abajo. La fuerza motriz en este proceso de pervaporación es el potencial gradiente químico entre el lado de alimentación y el lado permeado de la membrana, además de la presión del sistema ver figura 2.3. Esta desalinización por pervaporación es una combinación de difusión de agua a través de una membrana y su evaporación en la fase de vapor en el otro lado. (Wang et al., 2016). En este proceso la necesidad de energía no es tan dependiente de la concentración de sal. Con este método de desalinización se puede realizar el tratamiento de agua con un alto TDS (sólidos totales disueltos) de hasta (1 a 400 g / L) siendo el cloruro de sodio la sal dominante, en comparación con los procesos de membrana convencionales como la ósmosis inversa (RO), los cuales son limitados por esta concentración de sal (Wang et al., 2016)

Teniendo en cuenta los puntos anteriormente señalados, y añadiendo a esto energías renovables, como energía solar, geotérmica o residuos caloríficos industriales hace que este método sea más efectivo, debido a que este calentamiento solo se hace en un rango generalmente de 40–75 ° C.

## 2.2 PROCESO DE DESALINIZACION POR PERVAPORACION (PV)

Dentro de los métodos de desalinización con membranas, encontramos el método de desalinización por pervaporación, en este proceso la membrana juega un papel importante, para

que la desalinización se lleve de manera eficiente depende de las características que presente la membrana, esta membrana debe tener propiedades físico-químicas que permitan poder llevar a cabo un tamizado con alta selectividad molecular de la solución salina de alimentación.

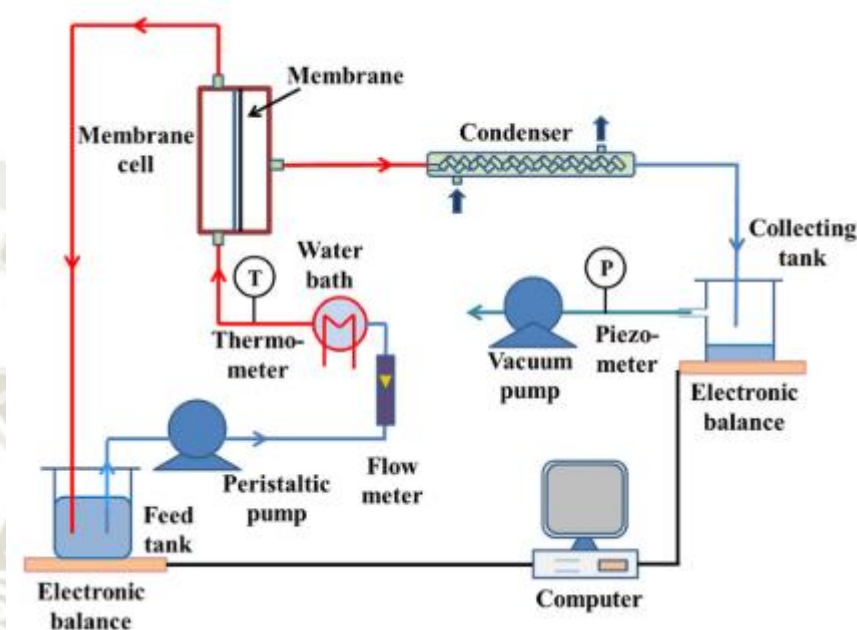


Figura 2.3: Esquema experimental de un módulo de pervaporación

Fuente: (Qian et al., 2018)

Para entender cómo se lleva a cabo el proceso de desalinización por pervaporación, describiremos todos los subprocesos que se dan. En la figura 2.3 se puede ver el esquema de un módulo de desalinización por pervaporación, a continuación, describiremos el proceso. Primero un tanque de solución salina alimenta a la bomba peristáltica, el flujo es bombeado al sistema, este flujo de alimentación se calienta primero hasta la temperatura de operación, luego el caudal se pone en contacto con la membrana permeo selectiva, aquí suceden dos cosas. La primera es que solo agua pura pasa a través de la membrana reteniendo así las partículas indeseadas, la segunda es que el agua se convierte en vapor y este pasa a través de la membrana continuamente hacia el otro lado. Una vez obtenido el vapor este se tiene que condensar, para luego ser recolectado. Además del proceso antes descrito, se tiene una bomba de vacío debido a que esta incrementa la fuerza motriz que permite la transferencia de masa que se lleva a cabo en la membrana. Por último, la medición del proceso se realiza en términos de flujo de agua y

rechazo de sal, el flujo de agua  $J$  es medido ( $\text{kg} / \text{m}^2 \cdot \text{h}$ ) y el rechazo de sal  $R$  (%). (Wang et al., 2016)

### 2.2.1 Proceso de transporte en las membranas de pervaporación

Para explicar la interacción entre el flujo de alimentación y la membrana en el proceso de pervaporación, recurriremos a la teoría de la difusión de la solución ya que esta es la explicación más acertada de lo que ocurre en el proceso de desalinización. Este modelo consta de tres pasos:

- (1) absorción de componentes de la mezcla de alimentación líquida sobre la superficie de la membrana polimérica selectiva.
- (2) difusión de lo adsorbido a través del volumen libre de la membrana.
- (3) evaporación del flujo adsorbido, que posteriormente pasa al otro lado de la membrana

(Wang et al., 2016).

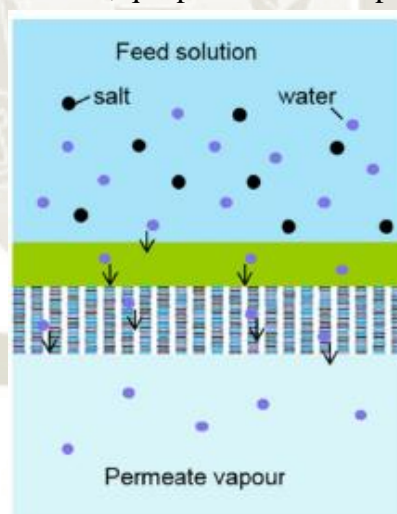


Figura 2.4: Proceso de desalinización en una membrana

Fuente: (Wang et al., 2016)

Como se observa en la figura 2.4, cuando el flujo de salmuera llega a la membrana suceden dos fenómenos, lo primero que sucede es que una parte del flujo de alimentación de salmuera, que es agua pura es absorbido, realizando una selección físico- química a través de los nanoporos, estas partículas de agua se absorben y pasan a través de la membrana, a continuación, la otra parte del flujo de salmuera es absorbido por la membrana en forma de



vapor, pasando así al otro lado de la membrana, para posteriormente ser condensada y recolectada.

### **2.2.2 Membranas usadas para la desalinización por pervaporación**

En el proceso de desalinización por pervaporación, las membranas juegan un papel importante, estas actúan como una barrera selectiva a escala molecular entre la solución de alimentación y el permeado, es decir el flujo que pasa al otro lado de la membrana. Este proceso se debe también a las propiedades químicas que posee la membrana. En la tabla 2.1 se puede observar un resumen de las membranas que se usan actualmente, así como la temperatura de trabajo, presión del sistema y el rendimiento de la membrana en el rechazo de sal.

Los primeros materiales usados para la fabricación de membranas fueron polímeros orgánicos como el polietileno y la celulosa. Después a finales de la década de 2000, las membranas inorgánicas microporosas, principalmente zeolitas y membranas amorfas a base de sílice, comenzaron a recibir una atención creciente.

Para lograr que la desalinización sea eficiente las membranas deben tener las siguientes características. Deben de poseer centros activos capaces de interactuar con el agua mediante enlaces de hidrógeno, dipolo-dipolo, que favorecen a la absorción selectiva del agua. Además de una buena rigidez y regularidad de la estructura de la membrana, que contribuye a que se realice una difusión selectiva a través de los nanoporos (Wang et al., 2016). Debido a la función importante que cumple la membrana, este es uno de los activos más costosos que forman parte del proceso de desalinización por pervaporación. Actualmente se siguen realizando pruebas e investigaciones para poder mejorar las propiedades de las membranas y así mejorar el rendimiento de este tratamiento de agua.

Tabla 2.1: Membranas y su desempeño en la desalinización por pervaporación (PV)

Membrane	NaCl (g/L)	Operating conditions in feed side	Operating conditions in permeate side	Membrane Thickness ( $\mu\text{m}$ )	Flux ( $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ )	Rejection (%)
Sulfonated polyethylene	0-176	25–65 °C	Air sweep 6 m/s	100	0.8–3.3	–
	35	45–65 °C	Air sweep 1.5 m/s	50–180	1.5–3.0	–
Polyether amide	32	68–70 °C heated by solar	Cooler tunnel	40	0.56	99.998
Cotton cellulose	40	40 °C	Vacuum 20 Pa	30	6.7	100
Cellulose diacetate on polytetrafluoroethylene	40	40 °C	Vacuum 20 Pa	3.5	5.1	100
Cellulose triacetate	100	50 °C 21 L/h	Air sweep $4.68 \times 10^{-3}$ m/s	10	2.3	99
Cellulose acetate	40–140	70 °C	Vacuum	20–25	5.97–3.45	99.7
Polyether ester	3.2–5.2	22–28.7 °C 15–100 kPa 18 L/h	Air sweep	160	0.13–0.16	–
Polyester	35	20 °C	The membrane tube was placed in sand	750	$7.1 \times 10^{-3}$	99.84
	100	50 °C 21 L/h	Air sweep $4.68 \times 10^{-3}$ m/s	20	0.54	99
poly(vinyl alcohol)/polyacrylonitrile	5	20 °C	Vacuum 100 Pa	0.62	9.04	99.5
poly(vinyl alcohol)	30	70 °C	Vacuum	0.1	7.4	99.9
NaA	Sea- water	69 °C 30 L/h	Vacuum 133 Pa	–	1.9	99.9
	29	77 °C 30 L/h	Vacuum 133 Pa	–	4.4	99.9
	0.13*	25 °C	Vacuum	15	0.2	99.4
	0.1**	20 °C	Vacuum	10	1.43	99.83
Silicalite-1	3	75 °C 2.4 L/h	Vacuum	6	11.5	99
ZSM-5	3	75 °C 2.4 L/h	Vacuum	3.3	12.5	99
	0.13*	25 °C	Vacuum	10	0.05	99.6
	38	90 °C	Vacuum	–	0.85	99
Clinoptilolite	0.1	93 °C 60 L/h	Vacuum 5453 Pa	–	2.5	95.8
Clinoptilolite-phosphate	1.4	95 °C 60 L/h	Vacuum	–	15	95
Hydroxyl sodalite	350	200 °C 2200 kPa 0.6 L/h	Vacuum 300 Pa	1	3.9	99.99
Silica prepared using tetraethyl ortho silicate and methyl tri-ethoxy silane	3	25 °C –700 kPa 0.12 L/h	Vacuum	–	4.7	93
Carbon template silica	3	25 °C –700 kPa 0.12 L/h	Vacuum	–	2.2	99.9
	3	20 °C	Vacuum	–	3.2	97
	40	25 °C	Vacuum	0.21	2.6	99.9
	35	20 °C	Vacuum	0.5	3.7	98.5
Cobalt oxide silica	10–150	75 °C 0.48 L/h	Vacuum	0.2–0.35	1.8–0.6	99
Fluoroalkylsilane-ceramic	30	40 °C	Vacuum 400 Pa	23	5	–
Graphene oxide/polyacrylonitrile	35	90 °C	Vacuum 100 Pa	0.1	65.1	99.8
Poly(vinyl alcohol)/maleic anhydride/silica	2	22 °C 1.8 L/h	Vacuum 800 Pa	10	6.9	99.5
	2	65 °C 1.8 L/h	Vacuum 800 Pa	10	11.7	99.9

\* As  $\text{Cs}^+$ 

\*\* As  $\text{MoO}_4^{2-}$ 

Fuente: (Wang et al., 2016)

## 2.3 DESALINIZACIÓN CON MEMBRANAS DE GRAFENO

Los avances en nanotecnología han dado como resultado la incorporación de materiales a base de grafeno para producir membranas finas y nanoporosas para la desalinización. El grafeno, que es un alótropo de carbono con átomos de carbono hibridados  $sp^2$  estrechamente empaquetados que forman una red hexagonal en forma de panal, es un material emergente para la desalinización basada en nanofiltración

### 2.3.1 Membranas de grafeno

El concepto de membranas basadas en grafeno para el tratamiento del agua y la desalinización fue presentado por primera vez por (Cohen-Tanugi et al.) en 2012 utilizando métodos computacionales, como se muestra en la Figura 2.5.

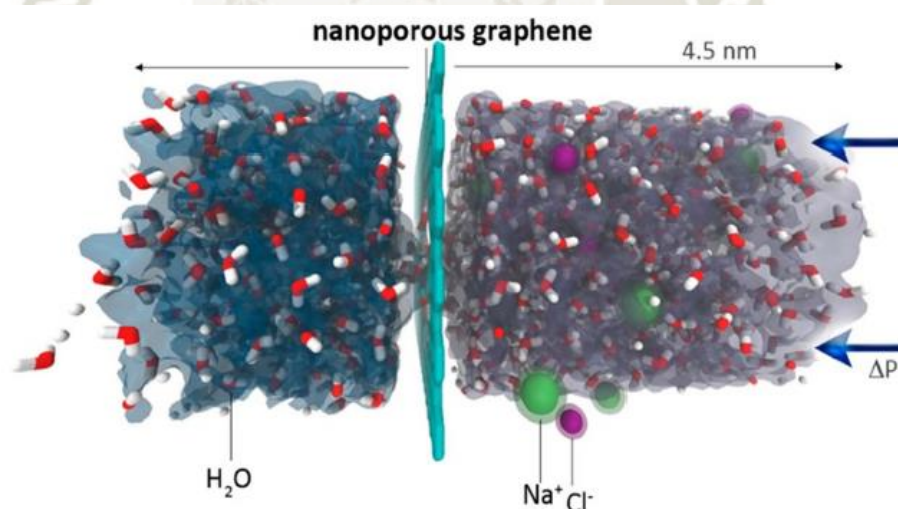


Figura 2.5: Análisis computacional del flujo de agua a través de los nanoporos del grafeno.

Fuente: (Anand et al., 2018)

El grafeno perfecto que tiene un átomo de espesor es impermeable, pero al crear poros o modificación de la superficie de la lámina, las propiedades del grafeno u óxido de grafeno (GO) se pueden ajustar para permitir que las moléculas de agua pasen a través de ellas y rechacen las sales y partículas disueltas. Sin embargo, la estabilidad mecánica del grafeno



de una sola capa bajo presiones operativas es un desafío técnico, debido a que el grosor esta capa es insignificante (0.3 a 1.0 nm para una membrana monocapa), pero el grafeno multicapa tiene una alta resistencia mecánica que permite su uso en membranas bajo presiones de operación. Debido a que el flujo de agua es inversamente proporcional al grosor de la membrana para un proceso impulsado por la presión, las nanopelículas de grafeno ultradelgadas permiten la desalinización a presiones inferiores a las de las membranas de RO típicas. Los estudios teóricos muestran que al reducir el grosor de la membrana a 10 nm, el rendimiento de la membrana aumenta 100 veces más que el de los sistemas de RO. Este incremento es muy significativo, debido a su buena estabilidad química y mecánica, las membranas de grafeno se han ido mejorando a través de grupos funcionales que contienen oxígeno mejorando así sus propiedades fisicoquímicas.

Generalmente el grafeno de una sola capa es mecánicamente inestable bajo presión, la buena estabilidad bajo presión se proporciona a través de varias capas. El apilamiento de nanolaminas y la presencia de grupos funcionales crean canales, o nanocapilares, para el paso de flujo de agua.

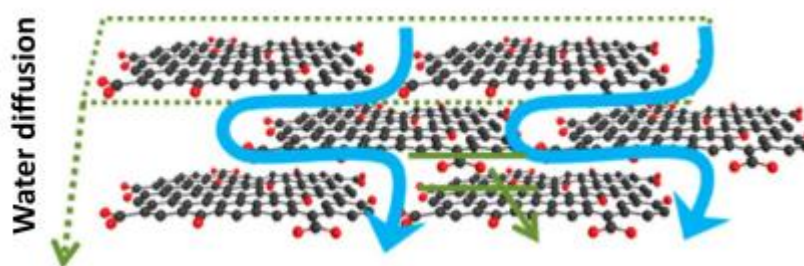


Figura 2.6: Nanocanales en una membrana en la desalinización

Fuente: (Anand, Unnikrishnan, Mao, Lin, & Huang, 2018).

como se observa en la Figura 2.6. las moléculas de agua que ingresan a los sitios hidrofílicos, se deslizan a través de capas, Según (Wang et al.) debido a su carácter antifílico el agua se difunde por las paredes de carbono.

En una membrana multicapa el flujo de agua es independiente del número de capas, pero el rechazo de sal depende del espacio entre las capas. Es por ello que este espaciado entre capas entre las láminas de grafeno se puede modificar para un rechazo de sal optimizado. Debido a estas propiedades que posee el grafeno puede lograr una nanofiltración,, que es una desalinización más eficiente.

### 2.3.2 Nanofiltración con membranas de grafeno

El grafeno perfecto no es adecuado para la desalinización ya que es impermeable. Para hacer que las láminas de monocapa de grafeno sean permeables al agua se deben crear poros de tamaños adecuados, para que estos poros no permiten el paso de iones, partículas y bacterias. El rendimiento de desalinización del grafeno nanoporoso está en función del tamaño de poro (a través del mecanismo de exclusión de tamaño), la característica química y la presión aplicada ver figura 2.7

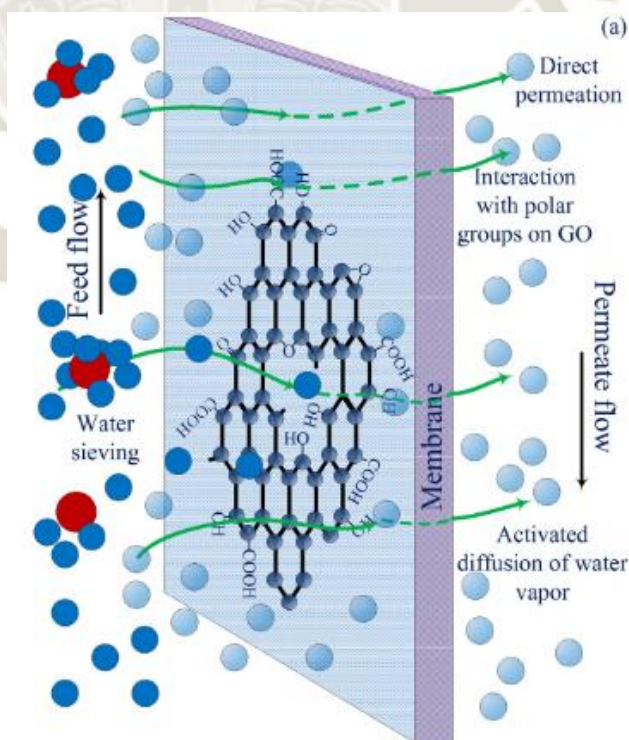


Figura 2.7: Esquema de desalinización en una membrana de grafeno

Fuente: (Bhadra et al., 2016)



Los estudios muestran que el rechazo de sal disminuye con el aumento del tamaño de poro y la presión aplicada. Por lo tanto, el tamaño de poro debe ser preciso para permitir el paso de las moléculas de agua, mientras se retienen otras moléculas e iones. Los estudios demuestran que la mayoría de los iones de sal pueden atravesar poros de un diámetro superior a  $5,5 \text{ \AA}$ . Por lo tanto, el tamaño de poro del grafeno debe estar por debajo de este tamaño para filtrar eficazmente los iones  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  del agua, además del tamaño de poro, la eficiencia de la membrana también está influenciada por los grupos funcionales y la carga en el borde de los poros. (En la figura 2.8) se presentan imágenes de simulación de nanoporos hidrogenados e hidroxilados en una sola capa de grafeno. Por ejemplo, un poro hidroxilado, que es hidrofílico, tiene un flujo de agua mayor que el de un poro hidrogenado del mismo tamaño. Por ello la presencia estos grupos funcionales cargados en la superficie de la membrana puede aumentar el flujo de agua. Sin embargo, debemos de tener en cuenta que las soluciones de agua de mar tienden a suprimir las interacciones electrostáticas entre los poros y los iones, debido a las fuertes interacciones ion-dipolo que se presentan.

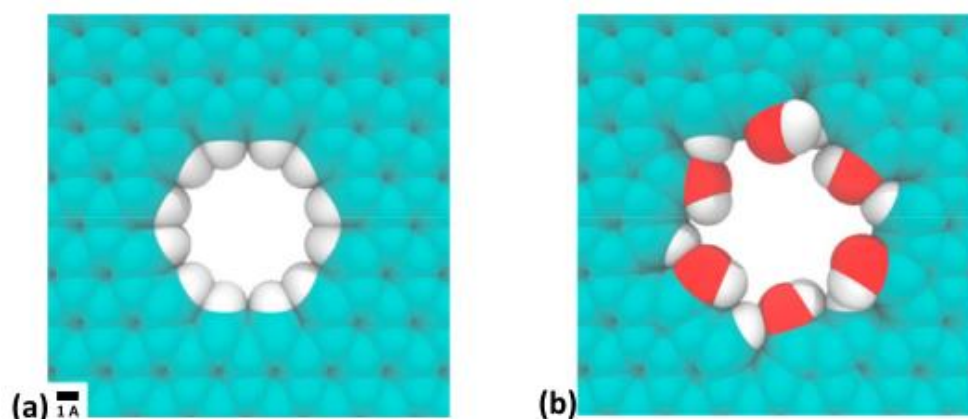


Figura 2.8: Simulación de (a) nanoporos hidrogenados y (b) hidroxilados sobre una capa de grafeno a una escala de  $1 \text{ \AA}$ .

Fuente: (Anand et al., 2018)

El estudio de (Fang et al). muestra cómo la ionización de grupos funcionales en el perímetro de los nanoporos en las membranas de grafeno afecta la eficiencia de la desalinización directamente al flujo de agua que pasa a través del poro. Este mismo estudio



revela que la ionización de los grupos funcionales depende del pH de la solución de alimentación y que esta afecta significativamente el rendimiento de la membrana. El transporte de moléculas dentro de las membranas se produce a través de los espacios entre bordes entre las hojas adyacentes y de los poros que están dentro de las capas. Por lo tanto, aumentar la porosidad aumenta la permeabilidad de la membrana de grafeno.

Entonces, teóricamente, al controlar los tamaños de poro y los grupos funcionales en los nanoporos de las membranas se puede mejorar la eficiencia del proceso de desalinización.

## **2.4 MÓDULOS DE MEMBRANA**

El rendimiento de la desalinización por pervaporación no solo depende de las propiedades de la membrana sino también del diseño del módulo y de las condiciones de operación del proceso. Este diseño del módulo juega un papel importante en el rendimiento de cualquier planta de membranas, dentro de los tipos de módulos usados tenemos: los módulos tubulares, capilares, de fibra hueca, tipo placa y marco y enrollados en espiral.

### **2.4.1 Módulos tubulares**

En este tipo de modulo la membrana está en forma de manguera en el interior de tubos herméticos que tienen diámetro interno de 12–24 mm (Figura 2.9 (arriba)). El tubo poroso delgado se ajusta entre el tubo de soporte y la membrana, la característica de este módulo es que ofrecen una excelente resistencia a incrustaciones con baja caída de presión, pero no son adecuado para operaciones de alta presión.

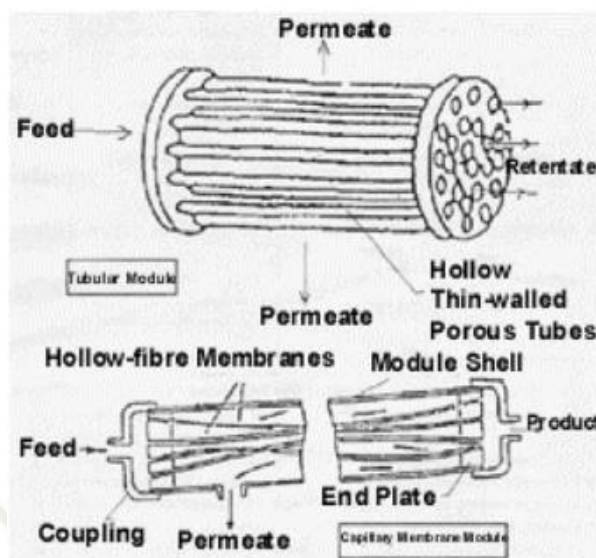


Figura 2.9: Representación esquemática del módulo de membrana tubular y el módulo de membrana capilar

Fuente: (Smitha et al., 2004)

### 2.4.2 Módulo capilar

Este tipo de modulo tiene un haz de tubos de fibras paralelas entre sí, con cualquier extremo unido a una placa de cabeza (Figura 2.9 (abajo)). En comparación con todos los demás módulos, este tiene una mayor resistencia, debido al flujo laminar predominante.

El módulo capilar ofrece una caída de presión moderada pero no es adecuado para alta presión de operación, generalmente no se usa para la aplicación en pervaporación a pesar de que sus costos de fabricación son moderados y tienen una buena resistencia al ensuciamiento (Smitha, Suhanya, Sridhar, & Ramakrishna, 2004).

### 2.4.3 Módulo de fibra hueca

Esencialmente este módulo consta de un recipiente a presión que contiene un haz de fibras individuales (Figura 2.10 a). Los extremos abiertos de las fibras se colocan en un plato de cabeza, la solución de alimentación fluye radialmente o paralela a las fibras huecas, el permeado se recoge en el extremo abierto de las fibras y, por lo tanto, el flujo paralelo puede ser a favor de la corriente o en contracorriente. En el proceso de pervaporación la

alimentación debe ser suministrada a una temperatura tal que permita llegar fácilmente a la entalpía de vaporización, en el proceso un gran gradiente térmico es establecido a través de la membrana con una pérdida continua de calor al permeado que resulta en una reducción en el flujo. Para compensar esta pérdida de calor, se requieren calentadores entre etapas dentro del módulo de membrana para recalentar la alimentación. Debido a que la relación de superficie / volumen es alta, se produce pérdidas de temperatura (Smitha et al., 2004).

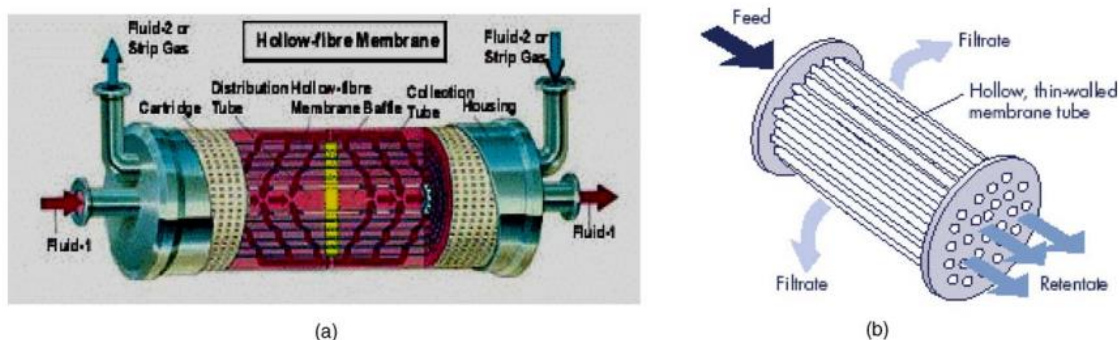


Figura 2.10 : Representación esquemática de módulo de membrana de fibra hueca

Fuente: (Smitha et al., 2004)

#### 2.4.4 Modulo de placa y marco

En este tipo de modulo la solución de alimentación pasa a través de canales planos y rectangulares (Fig. 2.11 (parte superior)). En la aplicación del proceso de pervaporación el módulo de placa y marco se ha convertido en el más usado por dos razones: en primer lugar, el diseño permite el uso de materiales de empaquetadura resistentes a los disolventes orgánicos líquidos y, en segundo lugar, este módulo permite el funcionamiento a alta temperatura con una etapa intermedia de calentamiento.



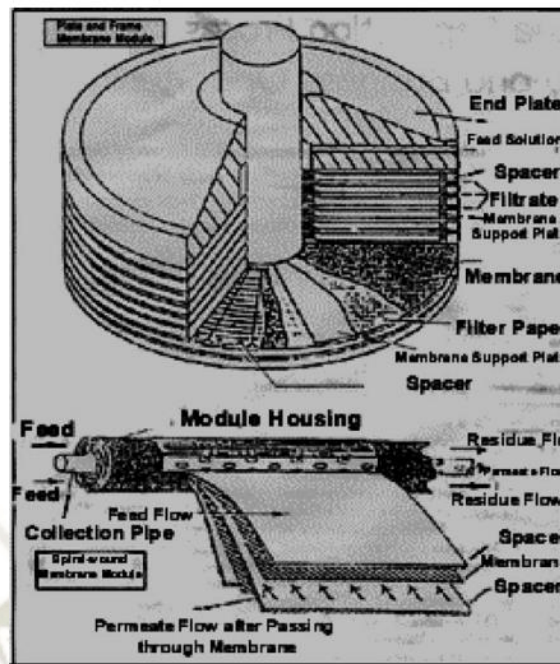


Figura 2.11: Representación esquemática del módulo de membrana de placa y marco, módulo en espiral

Fuente: (Smitha et al., 2004)

#### 2.4.5 Módulos enrollados en espiral

La descripción del módulo es la siguiente, básicamente en un tubo colector de permeado ubicado en el centro se enrollan dos o más bolsillos de membrana alrededor, y en medio de las membranas se coloca una malla especial que es utilizada como espaciador (Fig. 2.11 (inferior)). El bolsillo de membrana consta de dos láminas de membrana con un material altamente poroso en el medio, que se pegan a lo largo de tres bordes. El cuarto borde del bolsillo está conectado al tubo colector, como el flujo de alimentación es axial, el permeado fluye a través del soporte poroso dentro del bolsillo, a lo largo del camino en espiral hacia la recolección (Smitha et al., 2004).

Entonces para diseñar el módulo de membrana se debe tener en cuenta, la relación entre el área de la membrana y el flujo de alimentación ( $m^2/(m^3/seg)$ ), para que la fabricación sea rentable, de fácil acceso para la limpieza o mantenimiento, reducir los efectos de la capa límite y que el reemplazo de la membrana sea rentable.

## 2.5 CONDICIONES DE OPERACIÓN

Al igual que otros procesos, el rendimiento de la membrana en la desalinización por pervaporación depende de los parámetros relacionados con las condiciones de prueba, tales como la concentración de sal de alimentación, temperatura de alimentación, presión, etc. A continuación, revisaremos el efecto de las condiciones de operación en el rendimiento de la membrana.

### 2.5.1 Concentración de sal de alimentación

En la desalinización por pervaporación al igual que en otros procesos como la osmosis inversa, el flujo de agua desalinizada, tiende a disminuir con un aumento de concentración sal en el fluido de alimentación, pero esta disminución es mínima en comparación con los otros procesos. La concentración de sal generalmente no influye a temperatura ambiente sin embargo al incrementar la temperatura dicha concentración se vuelve significativa, debido a que la actividad termodinámica del agua disminuye con la actividad de la sal en la solución acuosa (Wang et al., 2016), lo que resulta en una menor presión parcial de agua por lo tanto una menor entalpia de vaporización.

Otras posibles razones por las que el aumento de la concentración de sal disminuye el flujo del agua es que, es posible una disminución en el coeficiente de difusión de las moléculas de agua a través de la membrana, reducción del volumen libre de la membrana, ensuciamiento de la membrana. Para obtener un proceso más eficiente de desalinización se debe tener en cuenta este parámetro de operación.

### 2.5.2 Presión

Según el estudio de (Xie y col) se observó que cuando la presión de vapor en el permeado aumentaba (el vacío disminuía) de 266 a 5320 Pa, el flujo del permeado también disminuía

en casi un 90% (Wang et al., 2016). Es decir, el flujo de agua aumenta a medida que aumenta el vacío. Si se desea incrementar el flujo del agua desalinizada no se debe de aumentar la presión del flujo de alimentación, sino al contrario disminuir la presión de vacío de lado donde se realiza la recolección del vapor del módulo de membrana.

### **2.5.3 Temperatura de alimentación**

Por lo general se observó que hay un aumento del flujo de agua cuando la temperatura de alimentación también aumenta, esto se debe a varias razones, una de ellas es que cuando la temperatura de alimentación aumenta, la presión de vapor en el lado de alimentación también lo hace de manera exponencialmente, esto conlleva a un incremento de la fuerza motriz y, por lo tanto, mejora el flujo de agua a través de la membrana nanoporosa. Otra razón es que, con una temperatura más alta, la difusividad molecular mejora, lo que facilita la penetración del agua a través de la membrana. Y por último, una temperatura más alta contribuye al aumento de la frecuencia y la amplitud del movimiento térmico de la cadena del polímero de la membrana nanoporosa, se decir se puede ampliar los volúmenes libres de polímero de la membrana, y con volumen libre más grande hace que el transporte de agua se realice más fácilmente (Wang et al., 2016)

### **2.5.4 Estabilidad de rendimiento**

En general, el flujo de agua disminuye con el tiempo de funcionamiento. Esto podría ser relacionado con la hidratación de los poros de la membrana con los iones del flujo, lo que dificulta la entrada de moléculas de agua. Además, durante el funcionamiento prolongado, el impacto de la contaminación de la membrana se vuelve grave. Debido a la deposición de sal, los canales de membrana están parcialmente bloqueados. Los canales para el transporte de agua se vuelven estrechos, y el agua y los iones no pueden pasar a través de ellos, lo que



hace que el flujo disminuya. Zwijnenberg et al. observó en un experimento a largo plazo que el flujo de agua se mantuvo estable durante una prueba de 50 días, pero después de 10 días de funcionamiento se alcanzó un flujo constante. Esto se debió, al ensuciamiento de la membrana aumentó con las horas de trabajo. Este efecto de flujo de agua reducida, puede ser causado por la capa de ensuciamiento.(Wang et al., 2016)

Entonces como se puede ver el rendimiento de la membrana depende de los parámetros operativos del proceso, como la concentración de sal, el caudal de alimentación, la temperatura de alimentación y la presión de vapor del permeado. Para optimizar la en rendimiento de la membrana, es necesario estudiar el efecto de los parámetros del proceso sobre el flujo de agua y el rechazo de la sal.

## **2.6 ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO.**

El proceso de pervaporación se ha utilizado ampliamente para la separación de mezclas de líquidos acuosos y orgánicos con ahorros significativos demostrados tanto en costos de capital como de operación en comparación con el proceso de destilación térmica. Sin embargo, solo hay pocos estudios sobre el requerimiento de energía y la economía del proceso de desalinización por pervaporación

Esto se debe principalmente al bajo flujo de agua asociado con las membranas, este bajo flujo de agua aumenta la cantidad de área requerida de la membrana, en consecuencia, aumenta el costo de capital requerido para las membranas (Manufacturing, South, & Jiaotong, 2018).

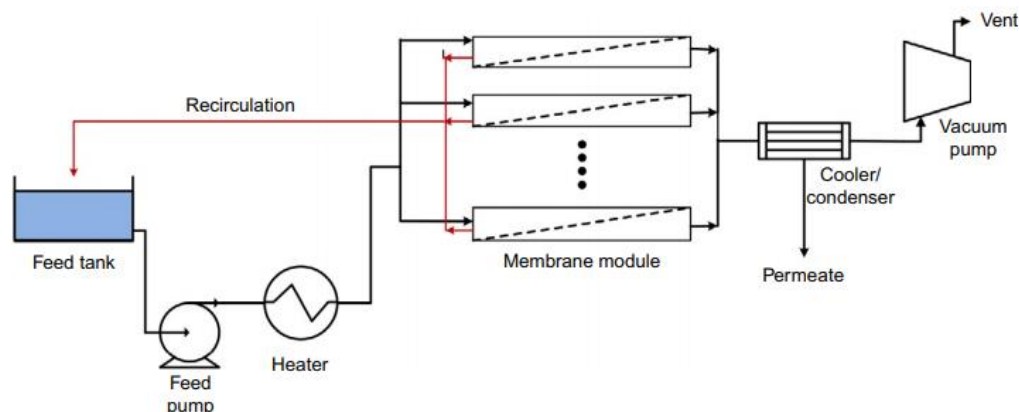


Figura 2.12: Esquema del proceso de pervaporación en modo de recirculación.

Fuente: Manufacturing, South, & Jiaotong, 2018

Para un buen desempeño del proceso de pervaporación, el flujo de agua debe ser obtenido con un consumo moderado de energía. La energía utilizada en el proceso de pervaporación es principalmente calor y electricidad como se puede ver en la figura 2.12 se muestra un proceso de desalinización pervaporación.

El proceso de pervaporación puede ser evaluado bajo los siguientes parámetros: la energía requerida para el calentamiento, energía requerida para la circulación del flujo, el funcionamiento de la bomba de vacío, y el área específica de la membrana. (ver la figura 2.13)

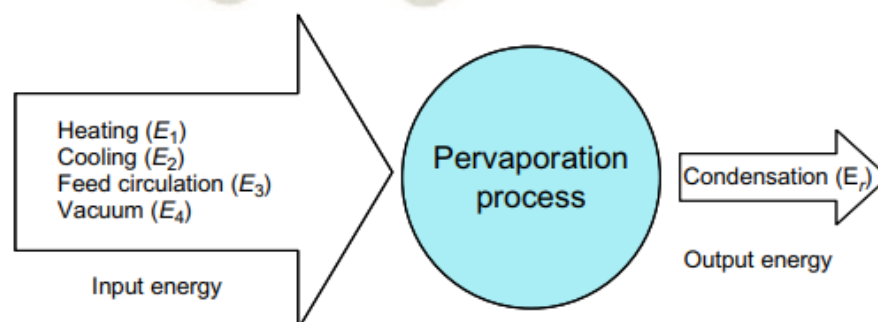


Figura 2.13: Desglose del requerimiento energético para pervaporación.

Fuente: Manufacturing, South, & Jiaotong, 2018

Los componentes principales que consumen energía para el proceso son: el calentamiento del flujo de alimentación, el enfriamiento de salmuera, el condensador de vapor permeado, la bomba de alimentación y la bomba de vacío. Como se observa en la ecuación 1 podemos hallar la energía dentro de ellas tenemos: el calentamiento de alimentación ( $Q_h$ ) y la energía de enfriamiento permeado ( $Q_c$ ) se clasifican como energía térmica, mientras que la potencia eléctrica asociada con la bomba de alimentación ( $E_f$ ) y la bomba de vacío ( $E_v$ ) se clasifican como energía eléctrica. El calor latente de condensación ( $E_r$ ) del vapor de agua podría ser recuperado y ser utilizado para calentar la alimentación.

El requerimiento total de energía es, por lo tanto:

$$E_{Total} = Q_h + Q_c + E_f + E_v \dots \dots \text{Ecuación 1}$$

Si consideramos la recuperación de calor, dependiendo de la eficiencia de recuperación de calor ( $x\%$ ), la E Total podría calcularse como se muestra en la ecuación 2

$$E_{Total} = Q_h + Q_c + E_f + E_v - x\%E_v \dots \dots \text{Ecuación 2}$$

En la figura 2.14 se muestra un desglose de la energía térmica y la energía eléctrica requerida utilizando un flujo de agua de 11.7 kg / m<sup>2</sup> y una eficiencia de evaporación del 90% obtenida en un sistema de recirculación de laboratorio a una temperatura de entrada de alimentación de 65 ° C, velocidad de alimentación de 0.05 m / s, y nivel de vacío 6 Torr (800 Pa). Para reducir la energía de proceso requerida, se puede utilizar el calor alternativo de baja calidad, solar o residual para proporcionar la energía térmica para calentar la alimentación. Además, si se adopta la opción de recuperación de calor, para recuperar el calor latente de la condensación obtenida en el condensador (Manufacturing, South, & Jiaotong, 2018).



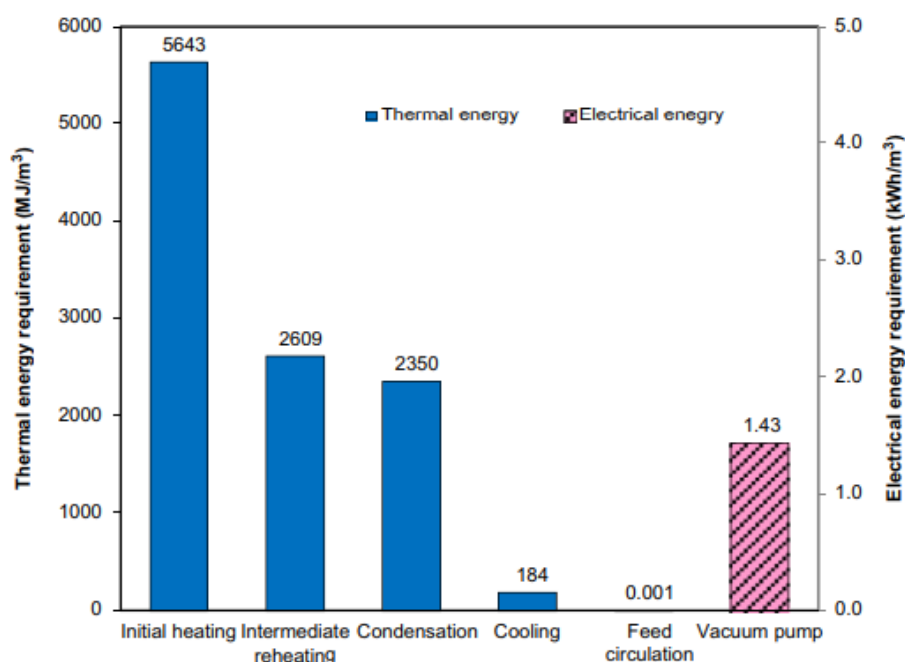


Figura 2.14: Ejemplo de descomposición de energía térmica y eléctrica para la pervaporación.

Fuente: (Manufacturing et al., 2018)

Como se observa en la figura 2.14 el mayor consumo energético se da en el calentamiento, inicial y en el calentamiento intermedio, este consumo energético no depende de la concentración de sal en la solución de alimentación. En comparación la osmosis inversa presenta un mayor consumo energético frente a un incremento de sal en la solución de alimentación., esta es una ventaja de la pervaporación tiene ventaja frente a la osmosis inversa.

Esto quiere decir que la desalinización por pervaporación podría aplicarse en lugares donde la osmosis inversa tiene limitaciones, como es el caso de las soluciones con elevada concentración de sal. Debemos de tener en cuenta que el valor de la energía térmica de baja calidad aumenta cuando la temperatura de alimentación es alta. Por lo tanto, es deseable mejorar la permeabilidad de la membrana ya que reduce la temperatura de alimentación requerida y el área de la membrana específica. En consecuencia, esto reduce los costos de operación (Manufacturing, South, & Jiaotong, 2018).

## 2.7 RECOPIACIÓN DE ESTUDIOS REALIZADOS USANDO EL MÉTODO DE PERVAPORACIÓN

Tabla 2.2: Tabla comparativa de estudios realizados en diferentes módulos de desalinización (1)

Item	Parametro			Comentarios	Resultados
1	FLUJO DE PERMEADO	Flujo (L/(m <sup>2</sup> *Hr)	65.1	A medida que aumenta la concentracion de sal de alimentacion el flujo permeado disminuye	Se logro el rechazo de sal de 99.8% con una temperatura de alimentacion de 90 °C con un flujo permeado de 1.6 ml/min para 100 000ppm
		Area de membrana(cm <sup>2</sup> )	14.7		
		Flujo ( ml/min)	1.595		
	TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO	Tiempo (Hr)	50	Membrana de poliacrilonitrilo (PAN) con OG	
2	FLUJO DE PERMEADO	Flujo(L/(m <sup>2</sup> *Hr)	11.7	La difusion del agua disminuye si aumenta la concentracion de agua , pero si aumenta la temperatuta la difusion a travez de la membrana aumenta	Se obtuvo un flujo de permeado agua de 11.7 kg / m2 h a una temperatura de alimentación de 65 ° C y una presion de vacío de 6 Torr., el rechazo de sal se mantuvo (hasta 99.9%).la concentración de sal de alimentacion era de 0.2 a 5.0% en peso. Se encontró que la energía de activación de la permeación de agua varía de 23.8 a 20.1 kJ / kmol
		Area de membrana(cm <sup>2</sup> )	12.6		
		Flujo(ml/min)	0.2457		
	NUMERO DE REYNOLDS	Reynolds	21-105	Si aumenta la presion de permeado, dismuye la tasa de flujo de permeado	
				El aumento de la temperatura en la alimentacion, aumenta fuerza motriz ya que la temperatura del lado permeado es constatannte , al incrementar la fuerza motriz incrementa el flujo permeado	
3	FLUJO DE PERMEADO	Flujo (L/(m <sup>2</sup> *Hr)	94	Un flujo turbulento disminuye el flujo pereado de agua	El rendimiento de desalinización logro un flujo de 97 kg / m2 h a 80 ° C. La membrana fue estable durante 90 días de funcionamiento continuo y no se vio afectada por la alta concentración de sal de 34,000 ppm. La fácil fabricación de con un 99.9% de pureza.
		Area de membrana(cm <sup>2</sup> )	14.5	El flujo de vapor de agua tiende a disminuir con el aumento de la concentracion de sal, ademas que desarrolla una capa limite mas gruesa, debido a que se reduce la transferencia de masa	
		Flujo ( ml/min)	2.3		
	TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO	Tiempo (dias)	90	El elevado flujo permeado puede atribuirse a múltiples factores que incluyen sorción selectiva, efecto nanocapilar y polarización de temperatura reducida. Grafeno consiste en una hoja 2D de átomos de carbono enlazados con sp2 en un panal hexagonal con retículas que sirven como sitios efectivos de sorción para los vapores de agua liberado de enlaces de hidrógeno pero repele las moléculas de agua. la presencia de grupos funcionales polares como epoxi, hidroxilo y carboxilo en GO mejoran significativamente la permeacion de vapor	
		Concentracion (ppm)	34 000		
		Temperatura(°C)	70		
	CONDUCTIVIDAD	Conductividad(μS/cm a 20°C)	1.3		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.3: Tabla comparativa de estudios realizados en diferentes módulos de desalinización (2)

4	FLUJO DE PERMEADO	Flujo (L/(m^2*Hr)	3.5		Una membrana hidroxí sodalita fue sintetizada hidrotérmicamente y fue probada utilizado en la desalación pervaporativa de agua y soluciones acuosas de sal durante más de 100 h sobre una rango de temperatura 303-473 a 2.2 MPa. El rechazo de iones de la membrana fue> 99.99%, y la calidad del permeado fue lo suficientemente alta como para ser clasificado como agua ultra pura.
		Area de membrana(cm^2)	1.77		
		Flujo ( ml/min)	0.01		
		Tiempo (Hr)	100		
	CONDUCTIVIDAD	Conductividad(μS/cm a 25°C)	0.1		
5	CONSUMO DE ENERGIA (Kw/m^3)	Potencia Kw	2	El flujo de alimentación a lo largo de la membrana hace que se forme una capa de polarización en la superficie de la membrana.	1. El aumento de la temperatura da como resultado mayores flujos de permeación en los procesos de desalinización que emplean RO, PV y MD. 2. La eficiencia energética de la desalinización está determinada por la disponibilidad de fuentes de energía renovables necesarias para elevar la temperatura de alimentación. El aumento de la concentración de sal en la alimentación reduce el flujo de permeación alcanzable. 3. La realización de la desalinización por pervaporación permite obtener flujos relativamente altos del permeado.
				En la superficie de la membrana tiene lugar la adsorción, la penetración del disolvente en la capa activa provoca que la membrana se hinche. Luego, el agua y la sal se difunden a través de la capa activa del potencial químico. El agua cambia su fase pero aún se desconoce, Después el permeado se desorbe y fluye a través de la capa porosa,	
				La eficiencia energética de la desalinización del agua está determinada por la disponibilidad de una fuente de energía renovable necesaria para calentar la alimentación, como la energía solar o el calor residual de otras fuentes,	
6	FLUJO DE PERMEADO	Flujo (L/(m^2*Hr)	30	la adición de GO mejoró la hidrofiliidad y la capacidad de adsorción de agua de la membrana, lo que condujo a la mejora del flujo de agua	Al incrementar en 1% el OG se alcanzaron elevados flujos de permeado 30.0 kg / m 2 · h y 27.6 kg / m 2 · h para desalinizar solución acuosa de NaCl al 5% en peso y 10% en peso, respectivamente, a 81°C y se obtuvo un alto rechazo de sal del 99,99% independientemente de las diversas concentraciones y temperaturas de alimentación
		Area de membrana(cm^2)			
		Flujo ( ml/min)			
	CONDUCTIVIDAD	min(μS/cm)	3.13	De acuerdo con el mecanismo en la desalinización PV, las moléculas de agua primero se adsorben en la superficie de la membrana hidrofílica, posteriormente se difunden a través de la membrana y finalmente se vaporizan en el lado del permeado	
		max(μS/cm)	17.23		
	TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO	tiempo(hr)	35		

Fuente: Elaboración propia



Tabla 2.4: Tabla comparativa de estudios realizados en diferentes módulos de desalinización (3)

Item	Experimento	Equipos			BIBLIOGRAFIA
		Equipo	Model	Fabricante	
1	High performance graphene oxide/polyacrylonitrile composite pervaporation membranes for desalination applications	Conductimetro	Con 110	Oakton	<b>High performance graphene oxide/polyacrylonitrile composite pervaporation membranes for desalination applications</b> , Bin Lianga, Wu Zhana, Genggeng Qi, Sengseng Lina, Qian Nana, Yuxuan Lina, Bing Cao a, and Kai Pana,
		Bomba P.		Langer	
2	Separation of aqueous salt solution by pervaporation through hybrid organic–inorganic membrane: Effect of operating conditions	Bomba P.		Masterflex	<b>Separation of aqueous salt solution by pervaporation through hybrid organic–inorganic membrane: Effect of operating conditions</b> , Zongli Xie, Derrick Ng, Manh Hoang, Tuan Duong, Stephen Gray.
		Conductimetro	Con 110	Oakton	
		Termocupla	tipo K		
3	Desalination across a graphene oxide membrane via direct contact membrane distillation	Bomba P.	Cole Parmer, model 7518–60		<b>Desalination across a graphene oxide membrane via direct contact membrane distillation</b> , Madhuleena Bhadra, Sagar Roy, Somenath Mitra
		Tubos	PTFE		
		Conectores	PFA		
		Calentado por Baño	GP-200, Inc., NH	NESLAB Instruments	
		Chiller	RM6	MGW Lauda	
		Electrodo Conoductimetro	4310.	Jenway	
4	Production of ultra pure water by desalination of seawater using a hydroxy sodalite membrane,	Bomba P.	HPLC		<b>Production of ultra pure water by desalination of seawater using a hydroxy sodalite membrane</b> , Sheida Khajavi, Jacobus C. Jansen, Freek Kapteijn
5	Water desalination by pervaporation – Comparison of energy consumption	Conductimetro	universal CPC 501	Elmetron	<b>Water desalination by pervaporation – Comparison of energy consumption</b> , Wladyslaw Kaminski, Joanna Marszalek, Elwira Tomczak
6	Membrana de matriz mixta de óxido de grafito / quitosano con permeabilidad mejorada del agua para la desalinización de agua de alta salinidad por pervaporación				<b>Chitosan/graphene oxide mixed matrix membrane with enhanced water permeability for high-salinity water desalination by pervaporation</b> , Xiaowei Qiana, Na Lia, Qinzhuo Wang, Songcan Ji

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 2.2 se muestran las diferentes pruebas de desalinización con diferentes materiales de membranas por el método de pervaporación. A continuación, se discuten los resultados más resaltantes de los distintos estudios realizados, a tener en cuenta para comenzar con el diseño de nuestro modulo para membranas de grafeno.

**1-Si** comparamos las diferentes pruebas de desalinización podemos observar que influye mucho la concentración de sal y la temperatura de calentamiento como, por ejemplo:

En la prueba realizada por (Sheth, 2016) la concentración de sal fue del 100 000 ppm (10%), una temperatura de alimentación de 90°C, el rechazo de sal fue del 99.8%.

Mientras que en la prueba realizada por (Xie, Ng, Hoang, Duong, & Gray, 2011), la concentración de sal fue del 0.2% al 5% en peso y una temperatura de alimentación de 65°C, el rechazo de sal fue del 99.9 %, considerándose esta como agua ultra pura. Y con una concentración de sal de 34 000 ppm (3,4%), una temperatura de calentamiento de 80 °C, se obtuvo un rechazo de sal de 99.9% de pureza (Bhadra et al., 2016).

Como se puede observar la eficiencia del rechazo de sal en las diferentes pruebas realizadas se debe a la concentración de cloruro de sodio en la solución de alimentación, la relación es directa, mientras mayor sea la concentración de sal, el rechazo de esta puede disminuir. Aquí radica una de las grandes ventajas de este método, que puede tratar agua con elevadas concentraciones de sal hasta 400 gr/L.

La temperatura también es otro factor que se debe tomar en cuenta, una mayor temperatura de alimentación, hará que el rechazo de sal sea más eficiente, pero debemos de tener en cuenta

que una mayor temperatura conlleva a un mayor consumo energético, pero si tenemos calor residual, podemos aprovechar este calor y así mejorar los costos energéticos.

**2-** Los diferentes flujos de agua condensada, del proceso de desalinización, son bajos debido a que necesitan un elevado consumo energético de calentamiento, así como una mayor área de membrana que separe los iones de NaCl del agua, como se puede ver en el trabajo de (Bhadra et al., 2016) donde se obtuvo un flujo de 2.3 ml/min y un área de membrana de 14.5 cm<sup>2</sup>. Estos flujos serían más elevados si se tuviera una potencia calorífica mayor, además de membranas de mayor área y más eficientes. Pero debemos de tener en cuenta que las membranas no son baratas y la eficiencia de rechazo de sal actualmente se encuentra en estudio.

Por ello es que se realizan las diferentes pruebas con diferentes tipos de membranas, para optimizar y mejorar el proceso.

**3.-** Un factor también importante es la presión de vacío del lado permeado de la membrana, esta presión de vacío influye también en el flujo de vapor permeado como se observó en el trabajo de (Xie et al., 2011), esta presión vacío puede incrementar la fuerza motriz del proceso de permeado que ofrece la membrana.

**4.-** Otra consideración a tener en cuenta, son las horas de funcionamiento de la membrana, ya que estas pueden sufrir ensuciamiento. En las pruebas realizadas por (Bhadra et al., 2016) la membrana fue estable durante 90 días, un aumento de horas de funcionamiento afecto la pureza del condensado, así como un menor flujo de agua permeada a través de la membrana. Mientras que en el estudio realizado por (Sheth, 2016) se observó que a partir de 50 horas de operación las membranas de poliacrilonitrilo con óxido de grafeno tendía disminuir a partir de 1.6



ml/min para 100 000 ppm de concentración de sal, además del rechazo de sal que también decaía a medida que seguía en funcionamiento el módulo.



## CAPÍTULO III DISEÑO DE MODULO DE DESALINIZACION

### 3.1 ESQUEMA DEL MODULO

A continuación, se presenta el esquema del módulo de desalinización (Ver figura 3.1), aquí se muestran los diferentes equipos e instrumentación para el modulo (Ver tabla 3.1, 3.2).

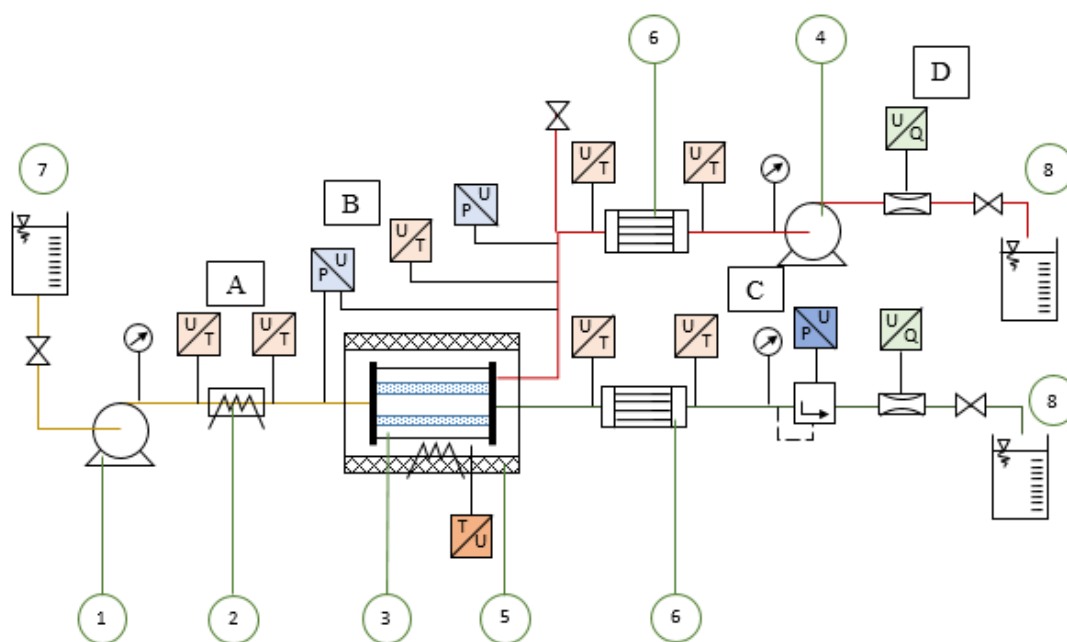


Figura 3.1: Esquema de módulo de desalinización

Fuente: Elaboración propia

Lista de equipos e Instrumentación del modulo

Tabla 3. 1: lista de equipos

Item	Equipo
1	Bomba
2	Sistema de precalentamiento
3	Módulo de membrana
4	Bomba de vacío
5	Horno de resistencia eléctrica
6	Unidad de condensación/enfriamiento
7	Tanque de alimentación
8	Depósito de recolección y condensado

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. 2: Lista de sensores

Item	Componente
A	Sensor de Temperatura
B	Sensor de presión diferencial
C	Sensor de presión
D	Sensor de caudal

Fuente: Elaboración propia

### 3.2 DISEÑO DEL MÓDULO

Para comenzar con el diseño y selección de equipos para el módulo, se realizará un análisis termodinámico de las diferentes partes que conforman el módulo teniendo las recomendaciones y resultados obtenidos en los diferentes estudios realizados. (Ver tabla 2.1). Basado en los estudios realizados con anterioridad se establecieron los siguientes parámetros para el diseño del módulo.

Tabla 3. 3: Parámetros de diseño del módulo

TEM	EQUIPO	CONDICION	PARAMETRO DE FUNCIONAMIENTO		UNIDAD
			MIN	MAX	
1	Bomba Dosificadora	PRESION	0.1	10	Bar
		CAUDAL	0.1	1	L/min
2	Sistema de precalentamiento	TEMPERATURA	20	65	°C
3	Horno Calentador	TEMPERATURA	50	90	°C
4	Bomba de vacío	PRESION DE VACIO	0.1	100	kPa
5	Unidad de condensación	TEMPERATURA	90	90	°C
6	Unidad de enfriamiento	TEMPERATURA	90	45	°C
7	Concentración de sal (NaCl)	CONCENTRACION	0	35	gr/L

Fuente: Elaboración propia



### 3.3 LISTA DE EXIGENCIAS Y DESEOS

Tabla 3. 4: Lista de Exigencias y deseos  
\*D/E: Deseos(D) o Exigencias(E)

Lista de Exigencias y Deseos				Pag 1- 2
Proyecto: Diseño de modulo de desalinizacion de agua por el metodo de pervaporacion				Revisado por:
N°	Categoria	Deseo o Exigencia	DESCRIPCION	RESPONSABLE
1	Funcion principal	E	Desalinizar la mezcla (Agua+sal), en un rango de concentracion de sal :0-35 gr/L. Hasta un caudal de flujo de 1 L/min	E.R.M.C.
2	Funcion	E	El bombeo de la mezcla (Agua + sal) se realizara en un rango de presion de 100 Pa-10 Bar, con un rango de flujo de 0.1 L/min-1 L/min	E.R.M.C.
3	Funcion	E	la mezcla(Agua+sal) sera precalentada hasta una tempertura de 65°C	E.R.M.C.
4	Funcion	E	El horno de calentamiento trabajara en un rango de temperatura de 20°C - 90°C,	E.R.M.C.
5	Funcion	E	La bomba vacio se mantendra un rango de vacio, de 0 Kpa a 100 Kpa,	E.R.M.C.
6	Funcion	E	El sistema de condensacion debera condensar el vapor y enfriar hasta una temperatura de 30°C.	E.R.M.C.
7	Funcion	E	El sistema de enfriamiento, reducira la temperatura de la salmuera hasta una temperatura de 30°C	E.R.M.C.
8	Funcion	E	Se medira la concentracion de sal, antes y despues del proceso de desalinizacion	E.R.M.C.
9	Material	E	La valvula reguladora de presion sera de Acero Inoxidable 316, ademas debera de ser de facil instalacion	E.R.M.C.
10	Material	E	Las tuberias hidraulicas y los diferentes accesorios, seran de acero inoxidable 316	E.R.M.C.
11	Material	E	El material del sistema de condensacion sera de Acero Inoxidable 316	E.R.M.C.
12	Material	E	El material del sistema de enfriamiento sera de Aleacion de Titanio	E.R.M.C.
13	Energia	E	Los equipos electricos tendran una alimentacion de 220 v, 60 Hz	E.R.M.C.

Lista de Exigencias y Deseos				Pag 2- 2
Proyecto: Diseño de modulo de desalinizacion de agua por el metodo de pervaporacion				Revisado por:
14	Geometria	D	El modulo deberá contar con formas constructivas sencillas que permitan su instalacion de manera facil y sencilla	E.R.M.C.
15	Geometria	D	El diseño del modulo debera ser lo mas compacto posible	E.R.M.C.
16	Operatividad	E	El modulo se debera maniobrar con facilidad y comodidad	E.R.M.C.
17	Operatividad	E	La unidad condensadora trabajara con refrigerante R- 404.	E.R.M.C.
18	Instalacion	E	La mayoría de los equipos y accesorios deben de poder encontrarse en el mercado nacional	E.R.M.C.
19	Seguridad	E	El diseño no pondrá en peligro al usuario bajo ninguna circunstancia, esto se entiende en cuanto a la integridad física .	E.R.M.C.
20	Seguridad	E	Los sensores tendran aislamiento electrico	E.R.M.C.
21	Seguridad	E	El sistema debera ser confiable y estable	E.R.M.C.
22	Señales	E	Los sensores del modulo daran una señal de salida, que terminara en un sistema de control	E.R.M.C.
23	Señales	E	El encendido y la graduacion de los equipos se realizara de manera maual los diferentes equipos del modulo,	E.R.M.C.

\*D/E: Deseos(D) o Exigencias(E)

Fuente: Elaboración propia

### 3.4 ESTRUCTURA DE FUNCIONES

Las funciones del módulo se basaron en la lista de exigencias:

#### **Sistema de Bombeo**

El inicio del proceso de desalinización del módulo, comienza con la mezcla de la solución salina de alimentación, luego el flujo es bombeado a presión.

El flujo de solución salina y la presión de bombeo será regulable

#### **Sistema de precalentamiento**

El sistema de precalentamiento es en línea por ello, este calentamiento debe ser en el menor tiempo posible.

#### **Sistema de calentamiento**

Se calentará el fluido salino, hasta que haya un intercambio iónico entre la membrana de grafeno y el fluido salino.

El calentamiento es de manera gradual.

#### **Sistema de condensación**

Condensar el vapor producto del intercambio iónico entre la membrana y el fluido salino

El condensado de vapor será medido y posteriormente recolectado.



## Sistema de enfriamiento

Enfriar la salmuera producto del intercambio iónico entre la membrana y el flujo salino

Una vez enfriada la salmuera será medida por un flujometro y posteriormente recolectada.

## Instrumentación

Los diferentes sensores del módulo miden: la temperatura, presión, flujo de agua, flujo de salmuera, tendrán una salida eléctrica, que serán medidas para visualizarse en sistema de adquisición de datos.

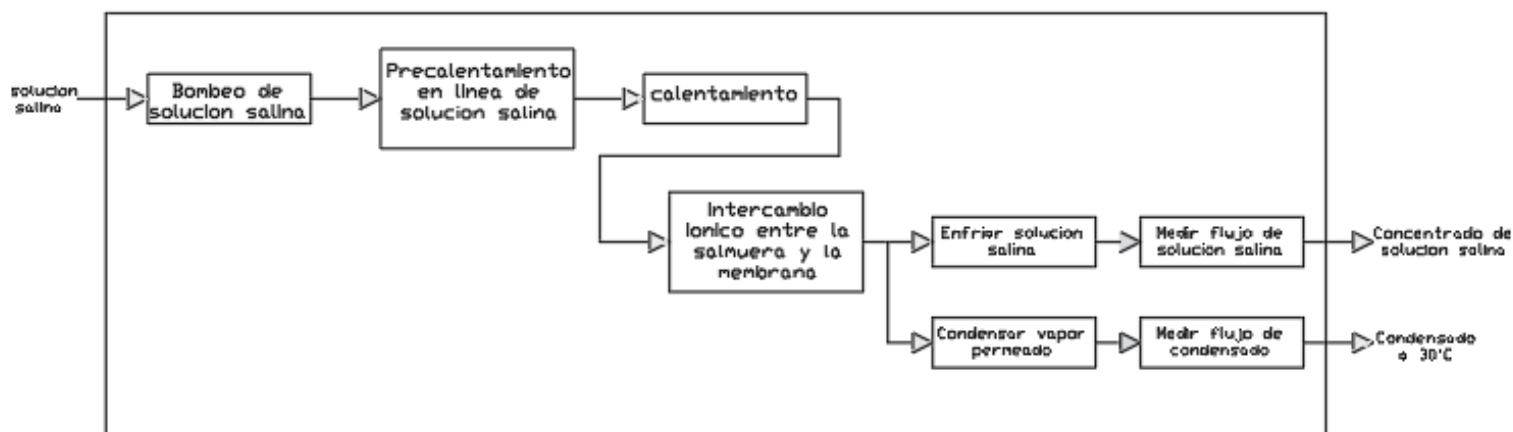


Figura 3.3: Esquema de funcionamiento del módulo

Fuente: Elaboración propia

### 3.5 MEMORIA DE CALCULO

La memoria de cálculo comprende un análisis físico de los diferentes subsistemas que conforman el módulo, el objetivo de este análisis termodinámico es para poder seleccionar los equipos y accesorios que conforman nuestro modulo.

#### 3.5.1 Potencia necesaria para el precalentamiento en línea

En este primer proceso se precalentará la solución salina que fue bombeada, este flujo viene proveniente de un recipiente que contiene la mezcla de sal y agua, que estará a la temperatura ambiente.

Consideraciones:

T1=20°C (Temperatura de ingreso de salmuera, T° ambiente)

T2= 65 °C (Temperatura de salida,)

Concentración de sal (%): 35%

P=10 Bar (Presión de bombeo)

Q= 1 L/min (Caudal de ingreso de salmuera)

Q= 0.00001667 m<sup>3</sup>/seg

La densidad de la salmuera para una temperatura de 20° (Temperatura ambiente)

$$\rho_{salmuera\ 20^{\circ}C} = 1001\ kg/m^3$$

Flujo másico de salmuera de ingreso

$$\dot{m}_{salmuera} = \rho * vel * Area$$

$$\dot{m}_{salmuera} = \rho * Q$$

$$\dot{m}_{salmuera} = 0.01667\ \frac{kg}{seg}$$

Potencia necesaria para precalentar la salmuera hasta 65°C

$$\dot{Q} = \dot{m}_{salmuera} (h_{salmuera\ 65^{\circ}C} - h_{salmuera\ 20^{\circ}C})$$

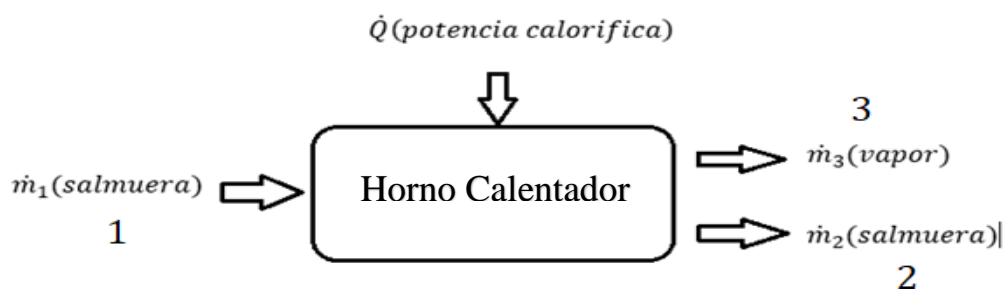
$$h_{salmuera\ 65^{\circ}C} = 272.4\ \frac{kJ}{kg}; h_{salmuera\ 20^{\circ}C} = 84.91\ \frac{kJ}{kg}$$

$$Q = 3.13\ Kw$$

Esta es la potencia calorífica necesaria para realizar el precalentamiento de la salmuera

### 3.5.2 Diseño del módulo de la membrana

Figura 3.4: Esquema del diseño del modulo



Fuente: Elaboración propia

Como se vio anteriormente es los estudios realizados, las pruebas realizadas fueron hechas con un calentamiento de 80°C-90°C, en nuestro caso realizaremos un diseño que nos permita un calentamiento del módulo de membrana de hasta 90° C

#### CONDICIONES

INGRESO DEL FLUJO DE SALMUERA (1)		
T (°C)	65	°C
P(Bar)	10	Bar
Q(caudal)	1	L/min
Q(caudal)	1.67E-05	m3/seg
Densidad a 65°C	980.4	kg/m3
Flujo másico de salmuera	0.0163	kg/seg
h1(entalpia)	272.4	kJ/kg

CONDICIONES DE SALIDA DE VAPOR (3)		
T (°C)	90	°C
h3(entalpia)	2660.1	kJ/kg

CONDICIONES DE SALIDA DE FLUJO DE SALMUERA (2)		
T2 (°C)	90	°C
h2(entalpia)	377.2	kJ/kg

#### a) Flujo másico de vapor

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{Q} = \dot{m}_3 h_3 + \dot{m}_2 h_2$$

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{Q} = \dot{m}_3 h_3 + (\dot{m}_1 - \dot{m}_3) h_2$$

La potencia calorífica  $\dot{Q}$  necesaria para calentar la salmuera de 65°C-90°C

$$\dot{Q} = \dot{m}_1 (h_b - h_a)$$

$$\dot{m}_1 = 0.01667 \frac{kg}{seg} ; h_{2(90^\circ C)} = 378.2 \frac{kJ}{kg} ; h_{1(65^\circ C)} = 272.4 \frac{kJ}{kg}$$



$$\dot{Q} = 1.8 \text{ Kw}$$

Este valor nos muestra la potencia calorífica necesaria para calentar la salmuera de 65°C-90°C

despejando el flujo de vapor  $\dot{m}_3$

$$\dot{m}_3 = \frac{\dot{Q} + \dot{m}_1(h_1 - h_2)}{h_3 - h_2}$$

reemplazando

$$\dot{m}_3 = \frac{1.8 + 0.01667(272.4 - 378.2)}{2660 - 378.2}$$

$$\dot{m}_3 = 0.00006135 \frac{\text{kg}}{\text{seg}} \text{ (flujo masico del vapor)}$$

b) Flujo másico de salmuera de salida del módulo de membrana

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_1 - \dot{m}_3$$

$$\dot{m}_2 = 0.01667 \frac{\text{kg}}{\text{seg}} - 0.00006135 \frac{\text{kg}}{\text{seg}}$$

$$\dot{m}_2 = 0.0158 \frac{\text{kg}}{\text{seg}} \text{ (flujo masico de salmuera a alta temperatura)}$$

Hallamos el caudal de la salmuera de salida a alta temperatura

$$\dot{m} = \rho * vel * Area$$

$$\dot{m} = \rho * Q$$

Despejando Hallamos el caudal de salmuera de salida a alta temperatura

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho}$$

reemplazando

$$\rho_{salmuera}(90^\circ\text{C}) = 960.8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$Q = 0.98 \frac{\text{Litros}}{\text{min}}$$

c) Flujo másico del condensado

Figura 3. 5: Esquema del sistema de condensación de vapor



Fuente: Elaboración propia

Por conservación de masa, igualamos el flujo másico de vapor que ingresa, con el flujo másico de condensado que sale del sistema de condensación

$$-\dot{m}_v h_v + \dot{m}_l h_l = 0$$

$$h_{v(vapor\ 90^\circ\text{C})} = 2660.1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_{l(\text{liquido } 90^{\circ}\text{C})} = 376.9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, \rho_{\text{liquido } 90^{\circ}\text{C}} = 965.3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\dot{m}_v = 0.00006135 \frac{\text{kg}}{\text{seg}} (\text{flujo masico de vapor})$$

despejando el flujo de condensado

$$\dot{m}_l = \dot{m}_v * \frac{h_v}{h_l}$$

reemplazando

$$\dot{m}_l = 0.002167 \frac{\text{kg}}{\text{seg}} (\text{flujo masico de condensado})$$

caudal del condensado

$$\dot{Q}_{\text{condensado}} = \frac{\dot{m}_{\text{condensado}}}{\rho_{\text{condensado } 90^{\circ}\text{C}}} \\ \dot{Q}_{\text{condensado}} = 0.0269 \frac{\text{litros}}{\text{min}}$$

#### d) Potencia del condensador de vapor

$$h_{(g)\text{vapor } 90} = 2660.1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_{(f)\text{liquido } 90} = 376.9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

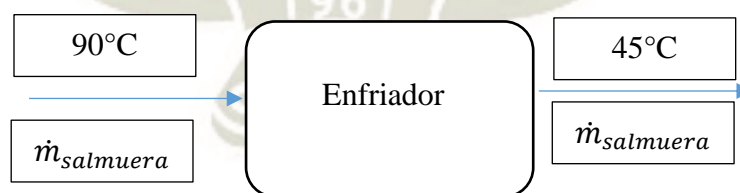
$$\dot{Q}_{\text{condensador}} = \dot{m}_{\text{vapor}} (h_g - h_f)$$

$$\dot{Q}_{\text{condensador}} = 0.00006135 \frac{\text{kg}}{\text{seg}} (2660.1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 376.9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}})$$

$$\dot{Q}_{\text{condensador}} = 0.7 \text{ kw} (\text{para un caudal de } 1 \frac{\text{L}}{\text{min}})$$

#### e) Potencia para enfriar la salmuera de salida a alta temperatura

Figura 3. 6: Esquema del sistema de enfriamiento de salmuera



Fuente: Elaboración propia

$$\dot{m}_l = 0.01573 \frac{\text{kg}}{\text{seg}}$$

$$h_{f(90^{\circ}\text{C})} = 334.7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_{f(45^{\circ}\text{C})} = 187.9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{Q}_{\text{enfriar}} = \dot{m}_{\text{salmuera salida}} (h_{f(90^{\circ}\text{C})} - h_{f(45^{\circ}\text{C})})$$

$$\dot{Q}_{\text{enfriar}} = 2.98 \text{ kw}$$

Seleccionamos un sistema de enfriamiento con una potencia de 3.5 KW ante una posible pérdida de calor

### 3.5.3 Diseño del sistema de Condensación

Para diseñar el sistema de condensación utilizamos el método aplicado para serpentines de enfriamiento para tubos helicoidales (Ndiaye, 2017)

#### 1) Condiciones de diseño

Tabla 3. 5: Condiciones de ingreso del vapor

PARAMETRO	CANTIDAD	UNIDAD
T3 ingreso (vapor)	90	°C
hg	2660	kJ/kg
T4 salida (liquido)	90	°C
hf	376.9	kJ/kg
densidad vapor a 90°C	0.4235	Kg/m <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia

$$D \text{ tubería} = \frac{3}{8} \text{ pulg} (0.0095 \text{ m})$$

#### a) Flujo másico de vapor

Para hallar el máximo flujo de vapor los realizaremos teniendo en cuenta que este es mayor cuando se tiene un bajo flujo de alimentación de salmuera, para no redundar en los cálculos realizaremos una simulación del software ESS para obtener el flujo máximo de vapor

Para un caudal  $Q = 0.1 \text{ L/min (salmuera)}$

$$\dot{m} = 0.000716 \frac{\text{kg}}{\text{seg}}$$

#### b) Potencia necesaria para condensar el vapor

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= \dot{m}_v (h_g - h_f) \\ \dot{Q} &= 1.63 \text{ kw} \end{aligned}$$

#### c) Potencia del condensador:

$$\dot{Q} = 1.7 \text{ kw}$$

seleccionamos un equipo de 1.7 kw debido a perdidas de calor en el sistema

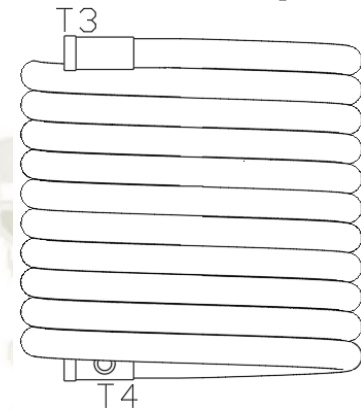
#### d) Velocidad del vapor:

$$\begin{aligned} \dot{m} &= 0.000716 \frac{\text{kg}}{\text{seg}} \\ \dot{m} &= \rho * vel * Area \end{aligned}$$

despejando

$$vel = \frac{\dot{m}}{\rho * Area}$$

Figura 3. 7: Diagrama de condensador de vapor



Fuente: Elaboración propia



$$vel = \frac{0.000716 \frac{kg}{seg}}{0.4235 \frac{kg}{m^3} * \frac{\pi}{4} * 0.0095^2}$$

$$vel = 23.85 \frac{m}{seg}$$

## 2) Coeficiente de transferencia de calor convectivo del vapor a 90°C

### a) Numero de Reynolds

Aplicamos la correlación para hallar el coeficiente de convección para un fluido en dos fases que se va a condensar.

$$Re_{DL} = \frac{\rho * vel * D_h}{\mu_l}$$

donde:

$$\rho = 0.4234 \frac{kg}{m^3}$$

$$vel = 10.23 \frac{m}{seg}$$

$$D_h = 0.0095 m$$

$$\text{Viscosidad Dinamica del vapor a } 90^\circ C \quad \mu_l = 0.00001193 \frac{\mu * kg}{m * seg}$$

$$Re_{DL} = 8044$$

$$Re_{DL} = 2100 < 8044 < 10\,000 \text{ (flujo en transición)}$$

### b) La longitud de entrada térmica se aproxima

$$L_t = 0.05 Re * Pr * D$$

De tabla del libro Yunus A. Cengel

Numero de Prandtl del vapor a 90°C-  $Pr_{90^\circ C} = 1$

$$L_t = 0.05 * 3451 * 1 * 0.0095$$

$$L_t = 1.63 m$$

### c) Coeficiente de convección

Aplicando la correlación de transferencia de calor para un flujo en condensación (Ndiaye, 2017)

$$h_{rwL} = 0.023 \frac{k_l}{D_h} Re_{DL}^{0.8} Pr_l^{0.4}$$

$$k_l (\text{Coeficiente de conductividad del vapor a } 90^\circ C) = 0.024 \frac{W}{m * K}$$

$$D_h (\text{diametro hidraulico}) = 0.0095 m$$

$$Re_{DL} = 8044$$

$$Pr_l (\text{numero de prandl del vapor a } 90^\circ C) = 0.999$$

$$h_{rwL} = 77.36 \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

### d) Coeficiente de convección de vapor considerando la calidad del vapor

$$h_{rw,i} = h_{rwL} \left[ (1-x)^{0.8} + \frac{3.8x^{0.76}(1-x)^{0.04}}{(P/P_c)^{0.38}} \right]$$

$$x(\text{calidad del vapor}) = 0.9$$

$$P(\text{presión actual}) = 1000 \text{ kpa}$$

$$P_c(\text{presión crítica}) = 70.1 \text{ Kpa}$$

$$h_{rwL} = 77.36 \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

Reemplazando en la ecuación para hallar el coeficiente de convección interna

$$h_{rw,i} = 102.4 \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

### 3) Coeficiente de convectivo del refrigerante a R-134<sup>a</sup> a 5°C

PARAMETRO	CANTIDAD	UNIDAD
T3 ingreso	5	°C
hf	245.819	kJ/kg
T4 salida	35	°C
hg	401.959	kJ/kg
densidad 5°C	1278	Kg/m <sup>3</sup>

#### a) Flujo másico del refrigerante R 134<sup>a</sup>

$$\dot{m}_{Refr} = \frac{\dot{Q}}{h_g - h_f}$$

$$\dot{m}_{Refr} = \frac{1.7 \text{ kw}}{401.959 \frac{kJ}{kg} - 245.819 \frac{kJ}{kg}}$$

$$\dot{m}_{Refr} = 0.01046 \frac{kg}{seg}$$

#### b) Velocidad del refrigerante

$$vel = \frac{\dot{m}}{\rho * Area}$$

$$vel = \frac{0.01046 \frac{kg}{seg}}{1278 \frac{kg}{m^3} * \frac{\pi}{4} * 0.0095 m^2}$$

$$vel = 0.1154 \frac{m}{seg}$$

#### c) Coeficiente de convección

Aplicamos la correlación para hallar el coeficiente de convección para un fluido en dos fases que se va a evaporar.

$$h_{rw,i} = 0.023 \frac{k_r}{D_h} Re_L^{0.8} Pr_r^{0.4} (3.2Y + 1)$$

#### d) Número de Reynolds

$$Re_L = \frac{\rho * vel * (1 - x) * D_h}{\mu_l}$$

$$\rho(\text{densidad del refrigerante R134 a } (5^{\circ}\text{C})) = 1278 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$vel = 0.1154 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

$$x(\text{calidad del refrigerante R - 134a}) : 0.203$$

$$D_h(\text{diametro hidraulico}) = 19\text{mm} - 9.5 \text{ mm} = 9.5 \text{ mm}$$

$$D_h(\text{diametro hidraulico}) = 0.0095 \text{ m}$$

$$\text{Viscosidad Dinamica refrigerante a } 5^{\circ}\text{C} \quad \mu_l = 0.0002589 \frac{\mu * \text{kg}}{\text{m} * \text{seg}}$$

Reemplazando

$$\mathbf{Re = 4317 \text{ (Flujo laminar en transicion)}}$$

e) *Coficiente de convención (Y)*

$$Y = \left( \frac{x}{1-x} \right)^{0.75} \left( \frac{P}{P_c} \right)^{-\frac{3}{8}} (M_{mol})^{\frac{1}{8}}$$

$$x(\text{calidad del refrigerante R - 134a}) : 0.203$$

$$P(\text{presion actual a } 7^{\circ}\text{C}) = 374.9.2 \text{ Kpa}$$

$$P_c(\text{presion critica a } 5^{\circ}\text{C}) = 349.9 \text{ Kpa}$$

$$M_{mol} = 102 \frac{\text{gr}}{\text{mol}}$$

$$\mathbf{Y = 0.4181}$$

f) *Coficiente de convección*

$$h_{rw,i} = 0.023 \frac{k_r}{D_h} Re_L^{0.8} Pr_r^{0.4} (3.2Y + 1)$$

$$k_r(\text{Coficiente de conductividad de R - 134a } (5^{\circ}\text{C})) : 0.0925 \frac{\text{w. m}}{\text{k}}$$

$$D_h(\text{diametro hidraulico}) = 19\text{mm} - 9.5 \text{ mm} = 9.5 \text{ mm}$$

$$Re_L(\text{Numero de Reynolds}) = 4317$$

$$\text{Numero de Prandtl a } 10^{\circ}\text{C} : 3.802$$

$$Y : 0.4181$$

$$\mathbf{h_{rw,i} = 367.3 \frac{w}{m^2 \cdot ^{\circ}C}}$$

4) *Coficiente de convección del vapor*

a) *Coficiente de conductividad térmica del tubo interno*

$$R_{tub} = \frac{\ln \left( \frac{r_2^2}{r_1^2} \right)}{2 * \pi * L * k}$$

$$r_2(\text{radio exterior}) = 4.75\text{m m}$$

$$e(\text{espesor de pared}) = 0.889\text{mm}$$

$$r_1(\text{radio interio}) = 3.86 \text{ mm}$$

$$k(\text{Conductividad termica del acero inoxidable A - 316}) = 401 \frac{\text{w}}{\text{m} * \text{k}}$$

$$L(\text{longitud}) = 1.638 \text{ m}$$

$$R_{tub} = 0.00005027 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{w}}$$



### 5) longitud del intercambiador de calor

$$L = \frac{A_s}{\pi * D}; A_s = \frac{Q}{U * \Delta T_{lm}}$$

#### a) Diferencia de temperatura logarítmica

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$$

\*Diferencia de temperatura para el vapor

$$\Delta T_1 = T_{h,ent,int} - T_{c,sal,ext}$$

Th entrada, vapor	90	°C
Tc sal, refrigerante	35	°C

reemplazando

$$\Delta T_1 = 55 \text{ °C}$$

\*Diferencia de temperatura para el refrigerante

$$\Delta T_2 = T_{h,sal,int} - T_{c,ent,ext}$$

Th salida, liquido condensado	90	°C
Tc entra, refrigerante	5	°C

$$\Delta T_2 = 85 \text{ °C}$$

reemplazando en la ecuación:

$$\Delta T_{lm} = 68.92 \text{ °C}$$

#### b) Coeficiente global de transferencia de calor

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o} + R_f}$$

$$h_{externa} = 367.3 \frac{W}{m^2 * C^\circ}$$

$$h_{interna} = 52.04 \frac{W}{m^2 * C^\circ}$$

$$R_f = 0.00005027 \frac{C^\circ}{W}$$

Reemplazando

$$U = 89.53 \frac{W}{m^2 * C^\circ}$$

#### c) Área del intercambiador de calor

$$A_s = \frac{Q}{U * \Delta T_{lm}}$$

reemplazando

$$A_s = 0.29 \text{ m}^2$$

#### d) Longitud del intercambiador de calor

$$L = \frac{A_s}{\pi * D}$$

$$D = 0.019 \text{ m} - 0.0095 \text{ m}$$

$$D = 0.0095 \text{ m}$$

reemplazando

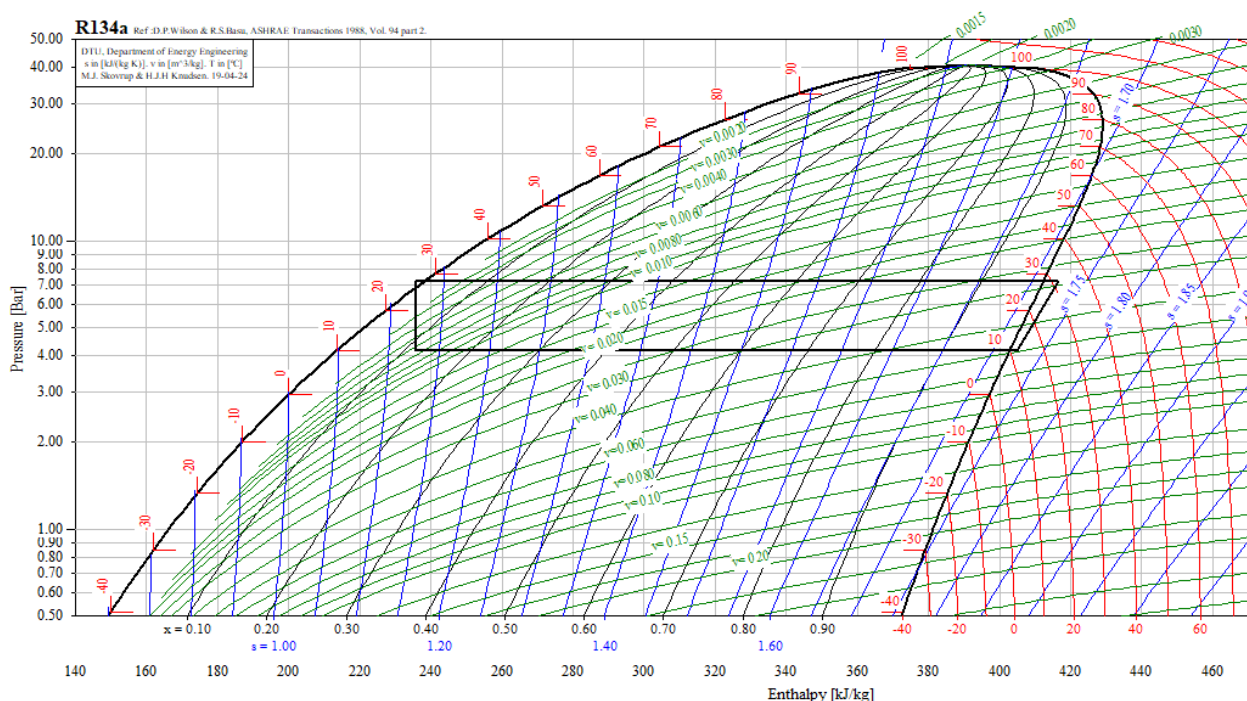
$$L = 8.87 \text{ m}$$

La longitud del intercambiador de calor es de 8.87 m

## 6) Potencia del compresor para el sistema de condensación

$$\dot{m}_R = 0.01046 \frac{\text{kg}}{\text{seg}}$$

Figura 3. 8: Ciclo de refrigeración del sistema de condensación



Fuente: Elaboración en el software Cool-pack

Evaporador		
T (temperatura)	5	°C
P(presión)	350.9	Kpa
Condensador		
T (temperatura)	35	°C
P(presión)	887.6	Kpa
Estados del ciclo de refrigeración		
h1	401.959	kJ/kg
h2	421.361	kJ/kg
h3	245.819	kJ/kg
h4	245.819	kJ/kg

potencia del compresor

$$w' = \dot{m}_{Refri}(h_2 - h_1)$$

$$\dot{w} = 0.01046 \frac{kg}{seg} (421.361 \frac{kJ}{kg} - 401.959 \frac{kJ}{kg})$$

$$\dot{w} = 0.203 kw; 0.272 Hp$$

**\*Seleccionamos un compresor de 1/3Hp**

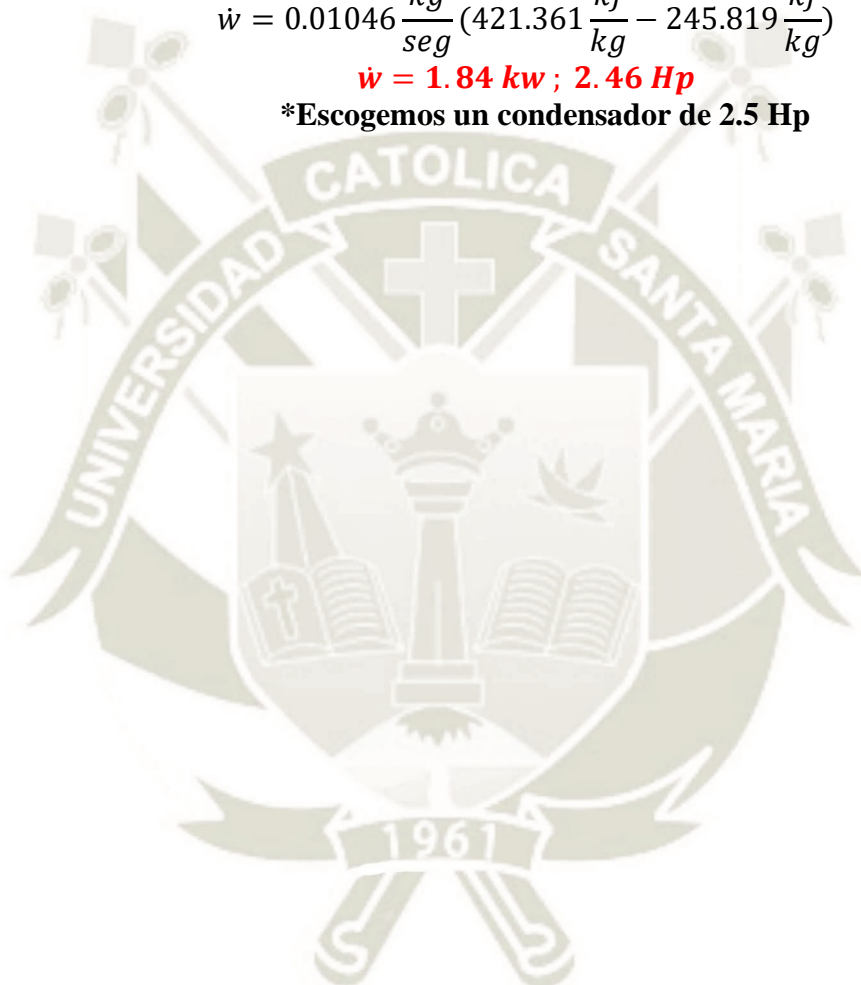
**\*Con un factor de seguridad de 1.2 ante un posible incremento de vapor**  
potencia del condensador

$$w' = \dot{m}_{Refri}(h_2 - h_3)$$

$$\dot{w} = 0.01046 \frac{kg}{seg} (421.361 \frac{kJ}{kg} - 245.819 \frac{kJ}{kg})$$

$$\dot{w} = 1.84 kw ; 2.46 Hp$$

**\*Escogemos un condensador de 2.5 Hp**





### 3.5.4 Diseño del sistema de enfriamiento

#### 1) Condiciones de la salmuera a enfriar

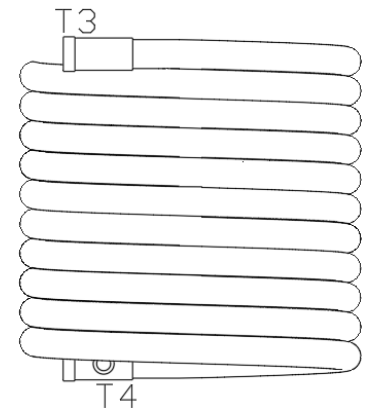
Tabla 3. 6: Condiciones de ingreso de la salmuera

PARAMETRO	CANTIDAD	UNIDAD
T3 ingreso (Líquido)	90	°C
hg	377.2	kJ/kg
T4 salida (Líquido)	45	°C
hf	187.9	kJ/kg
densidad 90°C	960.9	Kg/m <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia

$$D_{tubería} = \frac{3}{8} \text{ pulg} ; 0.0095 \text{ m}$$

Figura 3. 9: Diagrama del enfriador de salmuera



Fuente: Elaboración propia

El siguiente análisis termodinámico se realizó según el modelo de un intercambiador de calor tubo a tubo enrollado helicoidalmente con refrigerante (Ndiaye, 2017)

#### a) Flujo másico de la salmuera

El flujo másico para un caudal de 1 L/min:

$$\dot{m} = 0.01578 \frac{\text{kg}}{\text{seg}}$$

#### b) Potencia del enfriador de salmuera

para calcular la máxima potencia calorífica a enfriar lo haremos teniendo en cuenta el máximo caudal que es 1 L/min

$$\dot{Q} = \dot{m}_{salmuera} (h_g - h_f)$$

$$\dot{Q} = 2.98 \text{ kw}$$

#### c) Seleccionamos un intercambiador de calor de:

$$\dot{Q} = 3.5 \text{ kw}$$

#### d) Velocidad de la salmuera en el enfriador:

$$vel = \frac{\dot{m}}{\rho * Area}$$

$$vel = \frac{0.01555 \frac{\text{kg}}{\text{seg}}}{960.9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{\pi}{4} * 0.0095^2}$$

$$vel = 0.228 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

## 2) Coeficiente de transferencia de calor convectivo de la salmuera a 90°C

### a) Número de Reynolds

Aplicamos la correlación para hallar el coeficiente de convección para un fluido en régimen de transición

para una tubería de diámetro de  $\varnothing: 3/8"$  ; 0.0095 m

Vel prom = 0.228 m/seg

Viscosidad Dinámica a 90°C  $\mu = 0.0004587 \frac{\mu * kg}{m * seg}$

$\rho_{salmuera \ 90^\circ C} = 960.9 \frac{kg}{m^3}$

$$Reynolds = \frac{\rho * vel * D}{\mu}$$

$$Reynolds = \frac{960.9 * 0.228 * 0.0095}{0.0004587}$$

**Reynolds = 4610 < 10 000 (flujo en transición)**

### b) Longitud de entrada térmica se aproxima

$$L_t = 0.05 Re * Pr * D$$

De tabla Numero de Prandtl de la salmuera a 90°C

Prandtl<sub>90°C</sub>: 2.882

$$L_t = 0.05 * 4537 * 2.882 * 0.0095$$

**$L_t = 6.2 \text{ m}$**

### c) Coeficiente de convección

para el coeficiente de convección lo realizaremos mediante las correlaciones de transferencia de calor para flujo en una fase, para flujo compresible (Ndiaye, 2017)

$$2100 \leq Re_{D_h} < 10\ 000$$

$$h_{rw,i} = \frac{h_{rwt} - h_{rwl}}{7900} Re_{D_h} + \frac{10\ 000 h_{rwl} - 2\ 100 h_{rwt}}{7900}$$

\* Como se trata de un flujo en transición, hallamos un coeficiente de convección para un flujo laminar y un flujo turbulento

### d) Coeficiente de convección para un flujo laminar

$$h_{rwl} = 28.32 \frac{k_r}{D_h} (Pr_r \frac{D_h}{L})^{\frac{1}{3}} \left( \frac{\mu_r}{\mu_0} \right)^{0.14}$$

$$k_l (\text{Coeficiente de conductividad del liquido a } 90^\circ C) = 0.6799 \frac{W}{m * K}$$

$D_h$  (diámetro hidráulico) = 0.0095 m

$Pr_l$  (numero de prandtl del vapor a 90°C) = 2.868

Viscosidad Dinámica actual 90°C  $\mu_l = 0.0004587 \frac{\mu * kg}{m * seg}$

Viscosidad Dinámica crítica 90°C  $\mu_l = 0.0004587 \frac{\mu * kg}{m * seg}$

Longitud = 6.2 m

$$h_{rwl} = 322 \frac{w}{m^2 * ^\circ C}$$

e) *Coefficiente de convección para un flujo turbulento*

$$h_{rwt} = 42.79 \left( \frac{k_r}{D_h} \right) Pr_r^{\frac{1}{3}} \left( \frac{\mu_r}{\mu_0} \right)^{0.14}$$

$$k_r (\text{Coeficiente de conductividad del liquido a } 90^\circ C) = 0.6799 \frac{W}{m * K}$$

$$D_h (\text{diametro hidraulico}) = 0.0095 \text{ m}$$

$$Pr_l (\text{numero de prandtl del vapor a } 90^\circ C) = 2.868$$

$$\text{Viscocidad Dinamica actual } 90^\circ C \quad \mu_l = 0.0004587 \frac{\mu * kg}{m * seg}$$

$$\text{Viscocidad Dinamica critica } 90^\circ C \quad \mu_l = 0.0004587 \frac{\mu * kg}{m * seg}$$

$$h_{rwt} = 5051 \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

f) *Coefficiente de convección de régimen en transición*

$$2100 \leq Re_{D_h} < 10\,000$$

$$h_{rw,i} = \frac{h_{rwt} - h_{rwl}}{7900} Re_{D_h} + \frac{10\,000 h_{rwl} - 2\,100 h_{rwt}}{7900}$$

reemplazando en la ecuación

$$Re_{D_h} = 4567 < 10\,000 (\text{flujo en transición})$$

$$h_{rwl} = 322 \frac{W}{m^2 * ^\circ C}; \quad h_{rwt} = 5051 \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

coeficiente de convección de la salmuera a  $90^\circ C$

$$h_{rw,i} = 1825 \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

3) *Coefficiente de convección del refrigerante a R-134<sup>a</sup> a  $10^\circ C$*

a) *Flujo másico del refrigerante R 134<sup>a</sup>*

PARAMETRO	CANTIDAD	UNIDAD
T3 ingreso	10	$^\circ C$
hf	238.6	kJ/kg
T4 salida	30	$^\circ C$
hg	404.8	kJ/kg
densidad $10^\circ C$	1261	Kg/m <sup>3</sup>

$$\dot{m}_{Refri} = \frac{\dot{Q}}{h_g - h_f}$$

$$\dot{m}_{Refr} = \frac{2.98 \text{ kW}}{404.8 \frac{kJ}{kg} - 238.6 \frac{kJ}{kg}}$$

$$\dot{m}_{Refr} = 0.01798 \frac{kg}{seg}$$



**b) Velocidad del refrigerante**

$$D_{Hidraulica} = 25.4 \text{ mm} \cong 9.5 \text{ mm}$$

$$vel = \frac{\dot{m}}{\rho * Area}$$

$$vel = \frac{0.01798 \frac{kg}{seg}}{1261 \frac{kg}{m^3} * \frac{\pi}{4} * 0.0159^2 m^2}$$

$$vel = 0.072 \frac{m}{seg}$$

**c) Número de Reynolds del refrigerante**

$$Re_L = \frac{\rho \mu (1-x) D_h}{\mu_l}$$

$$\rho (\text{densidad del refrigerante R134 a } (10^\circ C)) = 1261 \frac{kg}{m^3}$$

$$x (\text{calidad del refrigerante R - 134a}) : 0.133$$

$$D_h (\text{diametro hidraulico}) = 19 \text{ mm} - 9.5 \text{ mm} = 15.9 \text{ mm}$$

$$D_h (\text{diametro hidraulico}) = 0.0159 \text{ m}$$

$$\text{Viscosidad Dinamica refrigerante a } 10^\circ C \quad \mu = 0.000243 \frac{\mu * kg}{m * seg}$$

$$vel = 0.0937 \frac{m}{seg}$$

Reemplazando

$$Re_L = 5136 < 10000 \text{ (Flujo en transicion)}$$

**d) Coeficiente de convención (Y)**

$$Y = \left( \frac{x}{1-x} \right)^{0.75} \left( \frac{P}{P_c} \right)^{-\frac{3}{8}} (M_{mol})^{\frac{1}{8}}$$

$$x (\text{calidad del refrigerante R - 134a}) : 0.133$$

$$P (\text{presion actual, presion a } 12^\circ C \text{ debido al sobrecalentamiento}) = 47.39 \text{ Kpa}$$

$$P (\text{presion critica a } 10^\circ C) = 349.9 \text{ Kpa}$$

$$M_{mol} = 102 \frac{gr}{mol}$$

$$Y = 0.4263$$

**e) Coeficiente de convección (hrw,i)**

Aplicamos la correlación para hallar el coeficiente de convección para un fluido en dos fases que se va a evaporar

$$h_{rw,i} = 0.023 \frac{k_r}{D_h} Re_L^{0.8} Pr_r^{0.4} (3.2Y + 1)$$

$$k_r (\text{Coeficiente de conductividad de R - 134a } (10^\circ C)) : 0.0903 \frac{W.m}{K}$$

$$D_h (\text{diametro hidraulico}) = 25.4 \text{ mm} - 9.5 \text{ mm} = 15.9 \text{ mm}$$

$$Re_L (\text{Numero de Reynolds}) = 6697$$

Numero de Prandtl a 10°C: 3.697

Y: 0.99

$$h_{rw,i} = 484.5 \frac{w}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

#### 4) Coeficiente de conductividad térmica del tubo interno

$$R_{tub} = \frac{\ln \left( \frac{r_2}{r_1} \right)}{2 * \pi * L * k}$$

$r_2$  (radio exterior) = 4.75m m

$e$  (espesor de pared) = 0.889mm

$r_1$  (radio interio) = 3.86 mm

$k$  (Conductividad termica del acero inoxidable A – 316) =  $401 \frac{w}{m * k}$

$L$  (longitud) = 6.22 m

$$R_{tub} = 0.000007997 \frac{^\circ C}{w}$$

#### 5) Longitud del intercambiador de calor

$$L = \frac{A_s}{\pi * D}; A_s = \frac{Q}{U * \Delta T_{lm}}$$

##### a) Diferencia de temperatura logarítmica

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left( \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)}$$

\*Diferencia de temperatura para el vapor

$$\Delta T_1 = T_{h,ent,int} - T_{c,sal,ext}$$

Th entrada, salmuera al enfriador	90	°C
Tc sal, refrigerante	45	°C

reemplazando

$$\Delta T_1 = 45 ^\circ C$$

\*Diferencia de temperatura para el refrigerante

$$\Delta T_2 = T_{h,sal,int} - T_{c,ent,ext}$$

Th salida, salmuera del enfriador	45	°C
Tc entra, refrigerante	10	°C

$$\Delta T_2 = 35 ^\circ C$$

reemplazando en la ecuación:

$$\Delta T_{lm} = 39.79 ^\circ C$$

##### b) Coeficiente global de temperatura

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o} + R_f}$$

$$h_{externa} = 476.6 \frac{w}{m^2 * C^\circ}$$

$$h_{interna} = 1781 \frac{w}{m^2 * C^\circ}$$

$$R_f = 0.000007997 \frac{^\circ C}{w}$$

Reemplazando

$$U = 381.7 \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

c) Área del intercambiador de calor

$$A_s = \frac{Q}{U * \Delta T_{lm}}$$

reemplazando

$$A_s = 0.2165 m^2$$

d) Longitud del intercambiador de calor

$$L = \frac{A_s}{\pi * D}$$

$$D_h(\text{diámetro hidráulico}) = 19mm - 9.5 mm = 15.9 mm$$

$$D = 0.0159 m$$

reemplazando

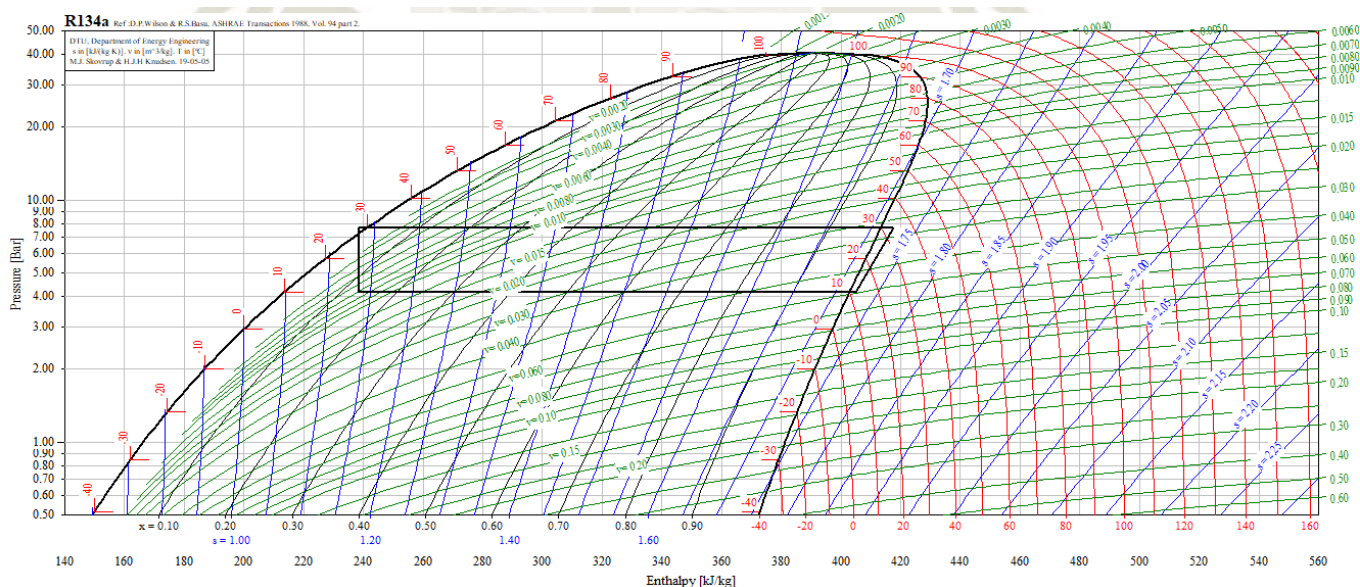
$$L = 7.024 m$$

\*La longitud del intercambiador de calor es de 7.024 m

e) Potencia del compresor para el sistema de enfriamiento

$$\dot{m}_{refri} = 0.01798 \frac{kg}{seg}$$

Figura 3. 10: Ciclo de refrigeración del sistema de enfriamiento de salmuera



Fuente: Elaboración en el software Cool- pack

Evaporador		
T (temperatura)	10	°C
P(presión )	415.8	Kpa

Condensador		
T (temperatura)	30	°C
P(presión )	771	Kpa



Estados del ciclo de refrigeración		
<b>h1</b>	404.828	kJ/kg
<b>h2</b>	417.709	kJ/kg
<b>h3</b>	238.582	kJ/kg
<b>h4</b>	238.582	kJ/kg

potencia del compresor

$$\dot{w} = \dot{m}_{Refri}(h_2 - h_1)$$

$$\dot{w} = 0.01798 \frac{kg}{seg} (417.709 \frac{kJ}{kg} - 404.828 \frac{kJ}{kg})$$

$$\dot{w} = 0.232 \text{ kw}; 0.31 \text{ Hp}$$

**\*Seleccionamos un compresor de 1/3 Hp**

potencia del condensador

$$\dot{w}' = \dot{m}_{Refri}(h_2 - h_3)$$

$$\dot{w}' = 0.01798 \frac{kg}{seg} (417.7 \frac{kJ}{kg} - 238.6 \frac{kJ}{kg})$$

$$\dot{w}' = 3.22 \text{ kw}$$

**\*Seleccionamos un evaporador de 4.5 Hp**

### 3.5.5 Resultado de la simulación de los procesos que conforman el modulo

Se realizó una simulación de los procesos térmicos del módulo en el programa ESS (Engineering Equation Solver), esto se hizo para poder realizar un mejor análisis de la variación de los principales parámetros que tienen un mayor impacto en el proceso termodinámico. Así como para realizar una mejor selección de los equipos y accesorios que conforman el modulo. A continuación, se realizará un breve análisis de los principales parámetros que influyen en el diseño del módulo.

#### 3.5.5.1 Comparación ante un incremento caudal de salmuera de alimentación

Q(caudal de ingreso(L/min))	Potencia calorifica (KW)	T ingreso	concentracion	presion de la salmuera(Kpa)	T vapor(°C)	T salida salmuera(°C)	concentracion de salida de salmuera
0.1	1.7	65	35%	1000	90	80	35%
0.2	1.7	65	35%	1000	90	80	35%
0.3	1.7	65	35%	1000	90	80	35%
0.4	1.7	65	35%	1000	90	80	35%
0.5	1.7	65	35%	1000	90	80	35%
0.6	1.7	65	35%	1000	90	80	35%
0.7	1.7	65	35%	1000	90	80	35%
0.8	1.7	65	35%	1000	90	80	35%
0.9	1.7	65	35%	1000	90	80	35%
1	1.7	65	35%	1000	90	80	35%

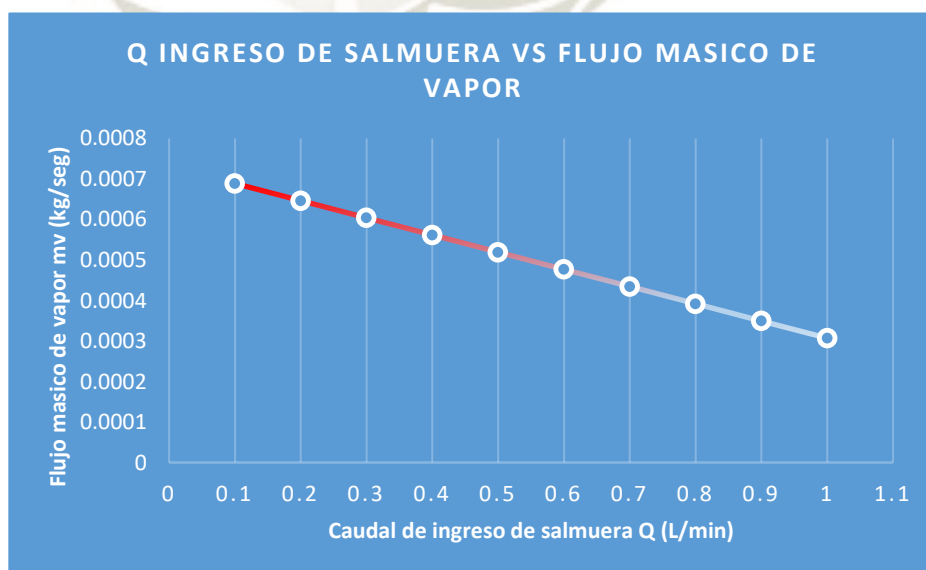


Figura 3. 11: Caudal de ingreso de salmuera VS flujo másico de vapor

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la figura 3.10, al aumentar el caudal de ingreso de salmuera, el flujo másico de vapor disminuye. Además, se puede ver que el flujo másico de vapor es mayor, cuando el caudal de alimentación de salmuera es menor.

La disminución de flujo de másico de vapor, se puede contrarrestar incrementando la potencia calorífica donde del módulo de membrana, a medida que se incrementa el caudal de ingreso de salmuera.

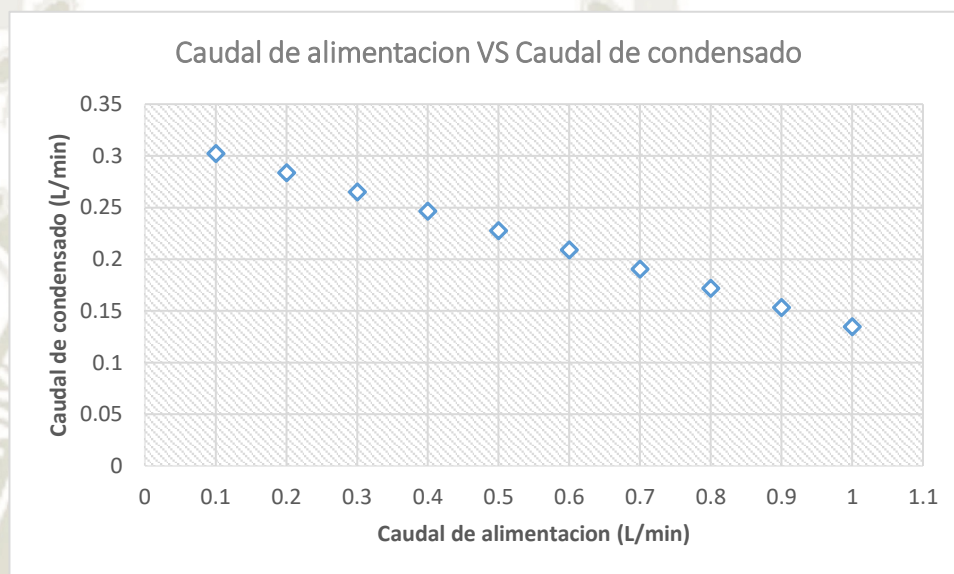


Figura 3. 12: Caudal de ingreso de alimentación VS caudal de condensado

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.11 se puede ver que, al incrementar el caudal de alimentación, el flujo de condesado de vapor disminuye.

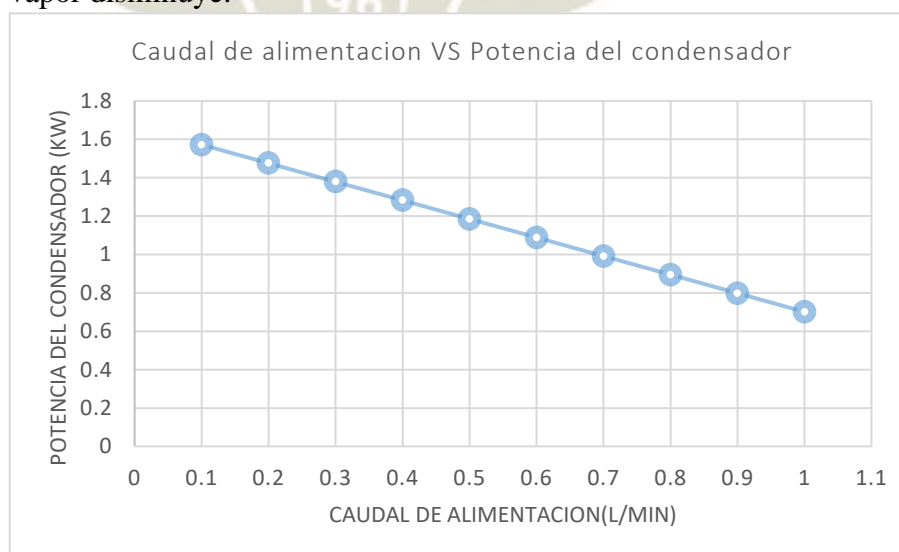


Figura 3. 13: Caudal de alimentación VS Potencia del sistema de condensación

Fuente: Elaboración propia



Como se puede ver en la figura 3.12, a medida que disminuye el flujo másico del vapor, también disminuye la potencia del sistema de condensación, además se puede observar que un menor flujo de alimentación, requiere de una mayor potencia del sistema de condensación.

En conclusión, con un menor flujo de alimentación de salmuera, se obtiene un mayor flujo másico de vapor, para condensar este elevado flujo de vapor se necesita una mayor potencia del compresor del sistema de condensación.

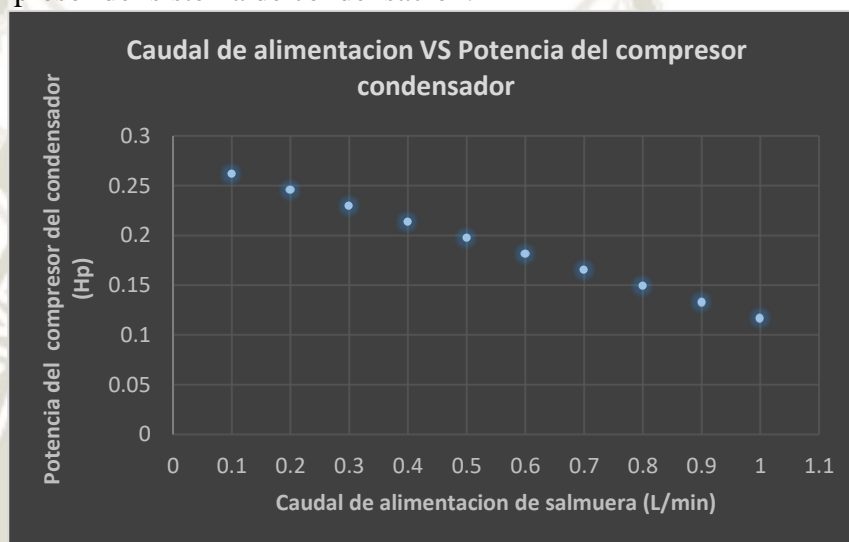


Figura 3. 14: Caudal de alimentación VS potencia del compresor del condensador

Fuente: Elaboración propia

Como es evidente en la figura 3.13, ante una disminución de flujo másico de vapor, se requerirá menos potencia, por parte del compresor del sistema de condensación.

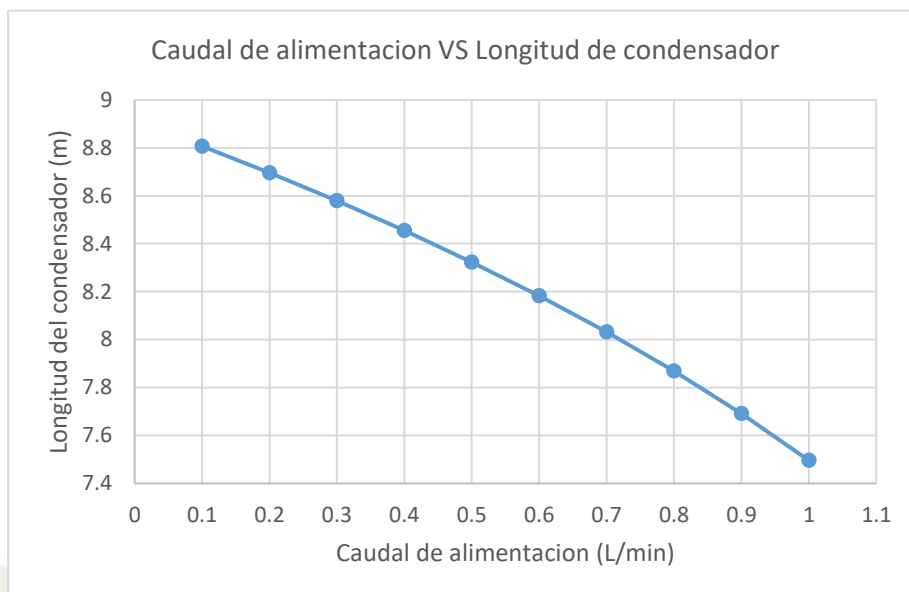


Figura 3. 15: Caudal de alimentación VS Longitud del condensador

Fuente: Elaboración propia

Como disminuye la potencia necesaria para condensar el vapor, entonces la longitud necesaria para condensar el vapor también disminuye como se puede ver en la figura 3.14, mientras que para un menor flujo de alimentación se obtiene mayor flujo de vapor y por consiguiente mayor longitud del condensador

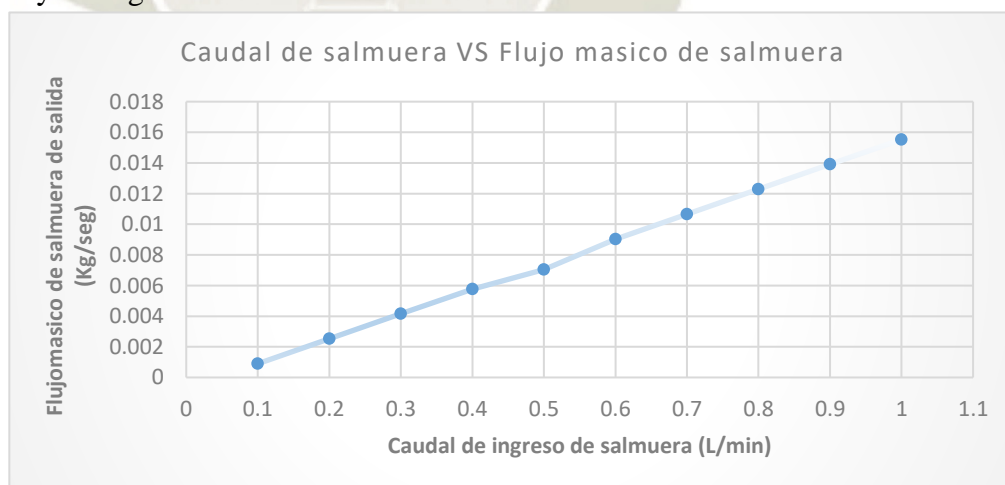


Figura 3. 16: Caudal de ingreso de alimentación VS flujo másico de salmuera de salida

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.15 se puede ver que, al incrementar el flujo de la salmuera de alimentación, la salmuera a alta temperatura producto del intercambio iónico del módulo de la membrana también incrementa, siempre en cuando los demás parámetros se mantengan constante

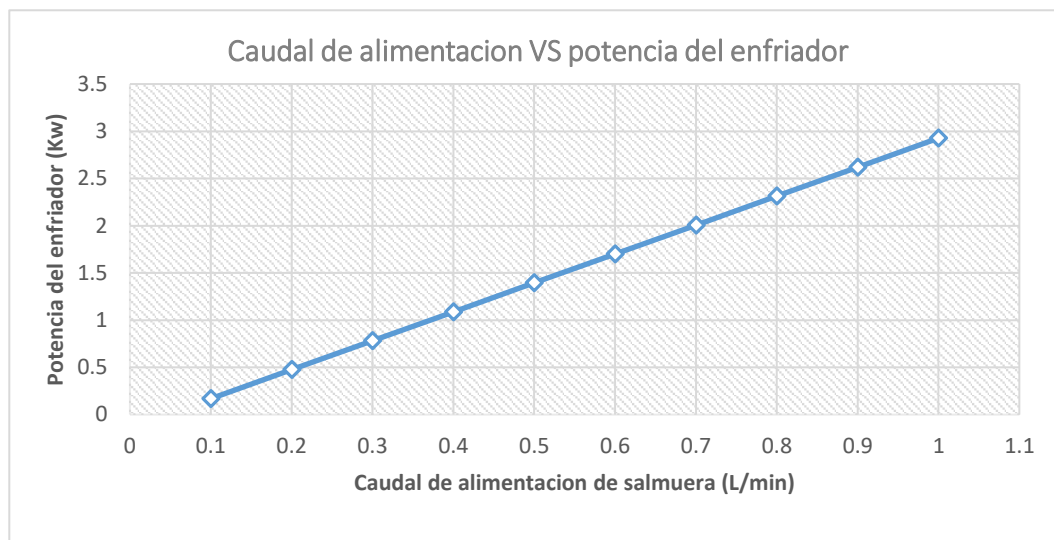


Figura 3. 17: Caudal de alimentación VS Potencia del enfriador

Fuente: Elaboración propia

Con el aumento del caudal de alimentación, se incrementa el flujo de salida de salmuera a alta temperatura, por la tanto la potencia necesaria para enfriar esta salmuera aumentara como se observa en la figura 3.16

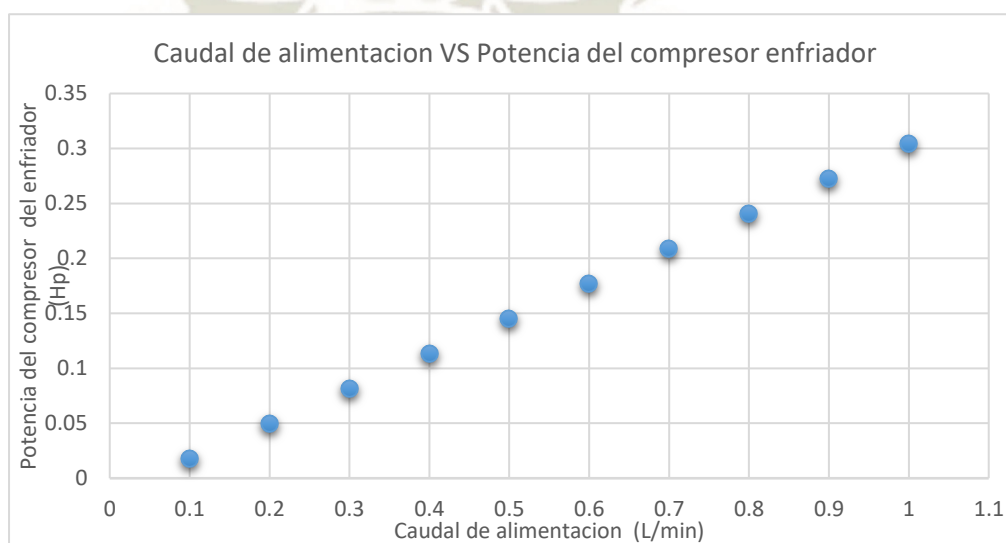


Figura 3. 18: Caudal de alimentación VS Potencia del compresor del enfriador

Fuente: Elaboración propia



Como se puede observar en la figura 3.17, al incrementar el flujo de alimentación la potencia del sistema de enfriamiento aumenta, por lo tanto, la potencia del compresor de la unidad condensadora para enfriar este flujo también incrementara.

Para nuestro diseño seleccionamos un compresor para la unidad enfriadora de 1/3 Hp, entonces podemos enfriar hasta un caudal de alimentación de salmuera de 1 L/min.

En conclusión: La potencia del compresor del sistema de enfriamiento, puede disminuir, incrementando la potencia calorífica  $Q$  del módulo de membrana, ya que el flujo de salmuera disminuiría, pero el flujo másico de vapor aumentaría.

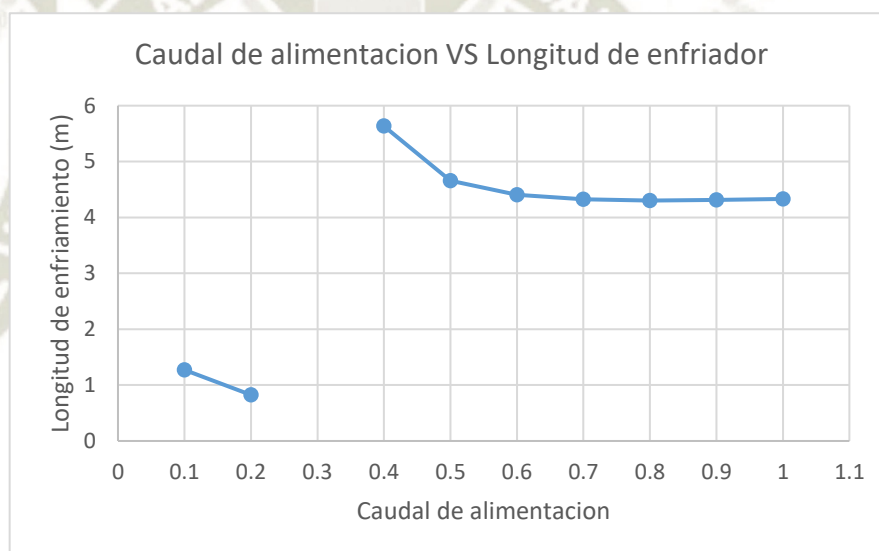


Figura 3. 19: Caudal de alimentación VS longitud del enfriador  
Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la figura 3.18 la longitud del sistema de enfriamiento de salmuera se mantiene casi constante, esta longitud para enfriar la salmuera, no se ve afectada con el incremento de caudal de alimentación.

### 3.5.5.2 Comparación ante el incremento de la potencia calorífica en el módulo de membrana

Q (caudal de ingreso(L/min))	Potencia calorífica (KW)	T ingreso	concentración	presión de la salmuera (Kpa)	T vapor(°C)	T salida salmuera(°C)	concentración de salida de salmuera
1	0.2	65	35%	1000	90	80	35%
1	0.4	65	35%	1000	90	80	35%
1	0.6	65	35%	1000	90	80	35%
1	0.8	65	35%	1000	90	80	35%
1	1	65	35%	1000	90	80	35%
1	1.2	65	35%	1000	90	80	35%
1	1.4	65	35%	1000	90	80	35%
1	1.6	65	35%	1000	90	80	35%
1	1.8	65	35%	1000	90	80	35%
1	2	65	35%	1000	90	80	35%

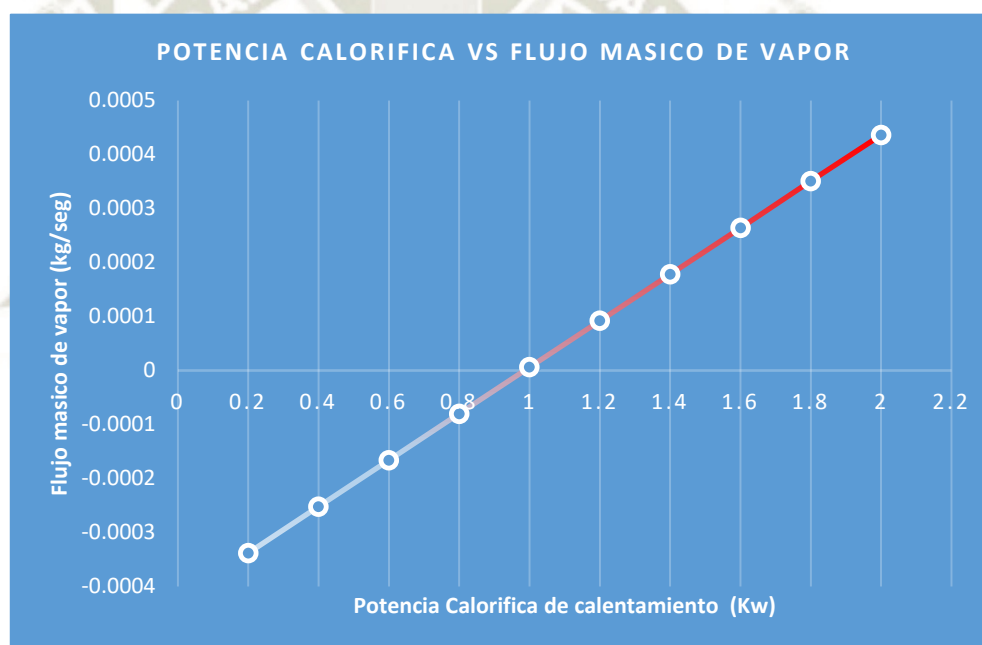


Figura 3. 20: Potencia calorífica VS Flujo másico de vapor

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la figura 3.19, el incremento de la potencia calorífica de calentamiento, incrementa el flujo másico de vapor. Además, se puede observar la existencia de valores negativos, esto indica que la potencia calorífica no es la suficientemente para obtener un flujo de vapor, para un caudal de 1 L/min. Entonces dependiendo del caudal de alimentación se necesitará calor, para obtener un flujo masico razonable de vapor.

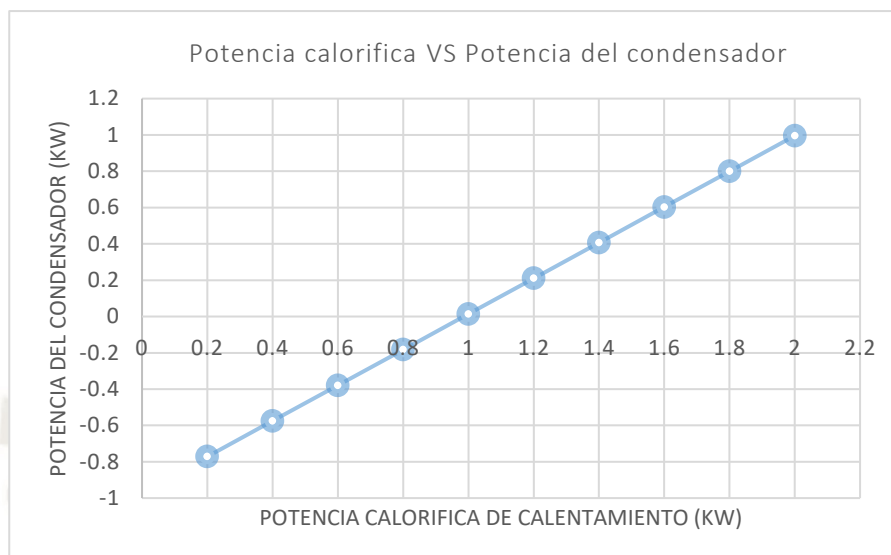


Figura 3. 21: Potencia calorífica VS Potencia del condensador  
Fuente: Elaboración propia

Al incrementar la potencia calorífica de calentamiento, el flujo másico de vapor también lo hace y como consecuencia la potencia necesaria para condensar el vapor también se incrementa como se puede ver en la Figura 3.20.

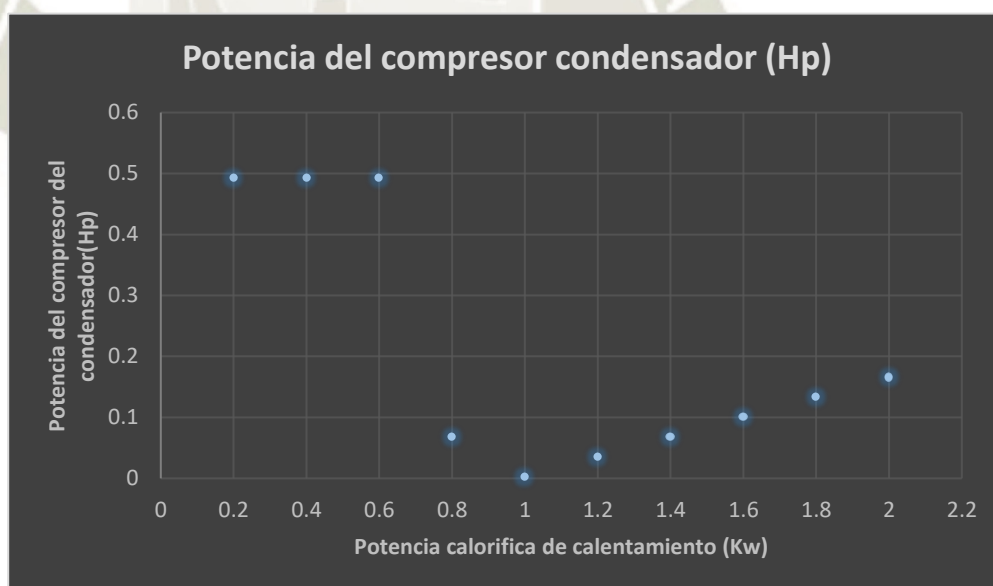


Figura 3. 22: Potencia calorífica de calentamiento VS Potencia del compresor del condensador

Fuente: Elaboración propia

Con el aumento de la potencia del sistema de condensación, la potencia del compresor de la unidad condensadora también se eleva (ver Figura 3.21)



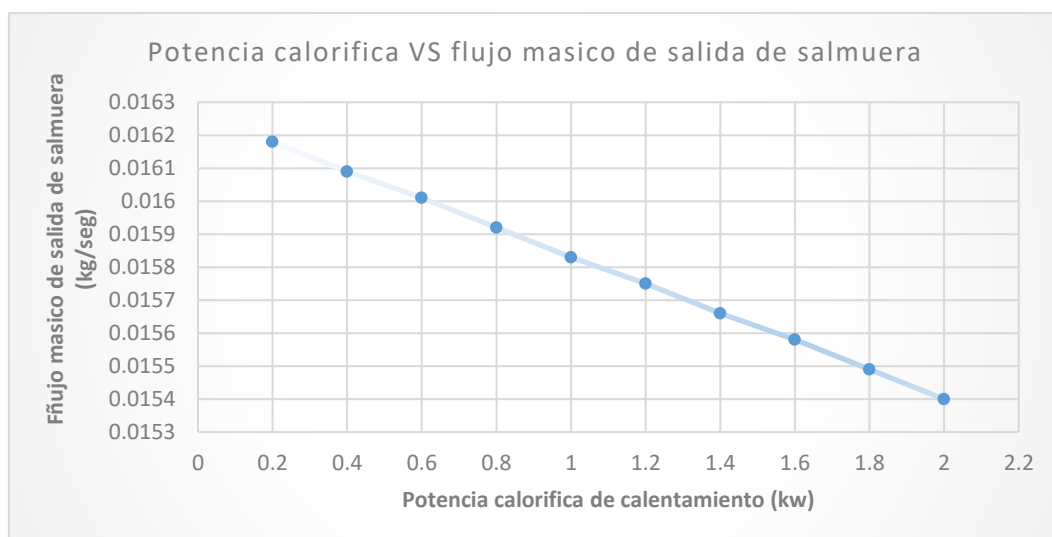


Figura 3. 23: Potencia calorífica de calentamiento VS Flujo másico de salida de salmuera a alta temperatura

Fuente: Elaboración propia

El flujo másico de salida de salmuera a elevada temperatura, disminuye con el incremento de potencia calorífica (ver la Figura 3.22), esto se debe a que se genera un mayor flujo másico de vapor.

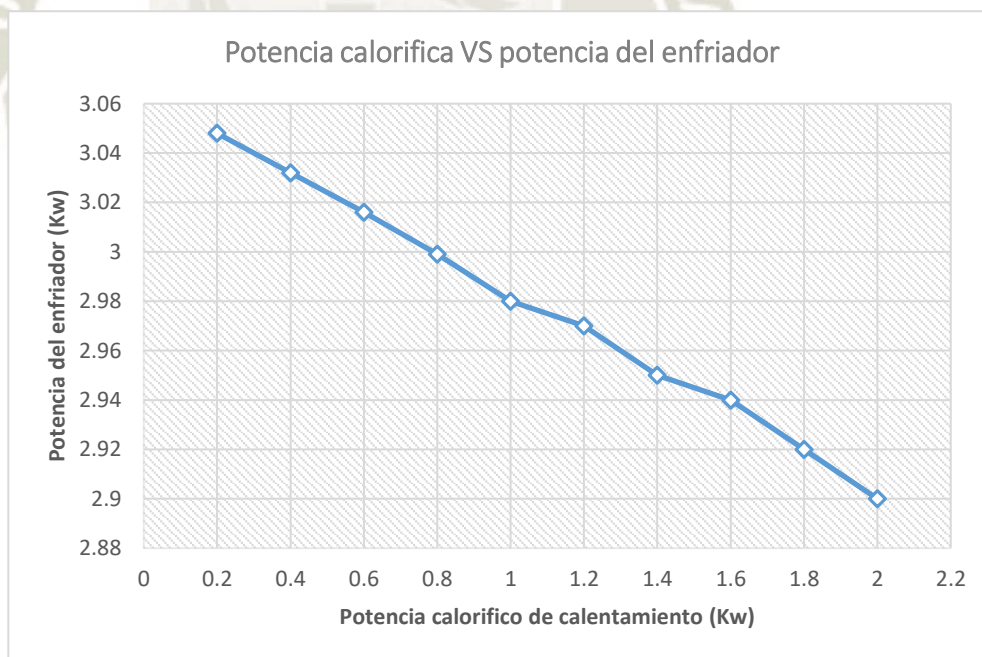


Figura 3. 25: Potencia calorífica de calentamiento VS Potencia del enfriador de salmuera

Fuente: Elaboración propia

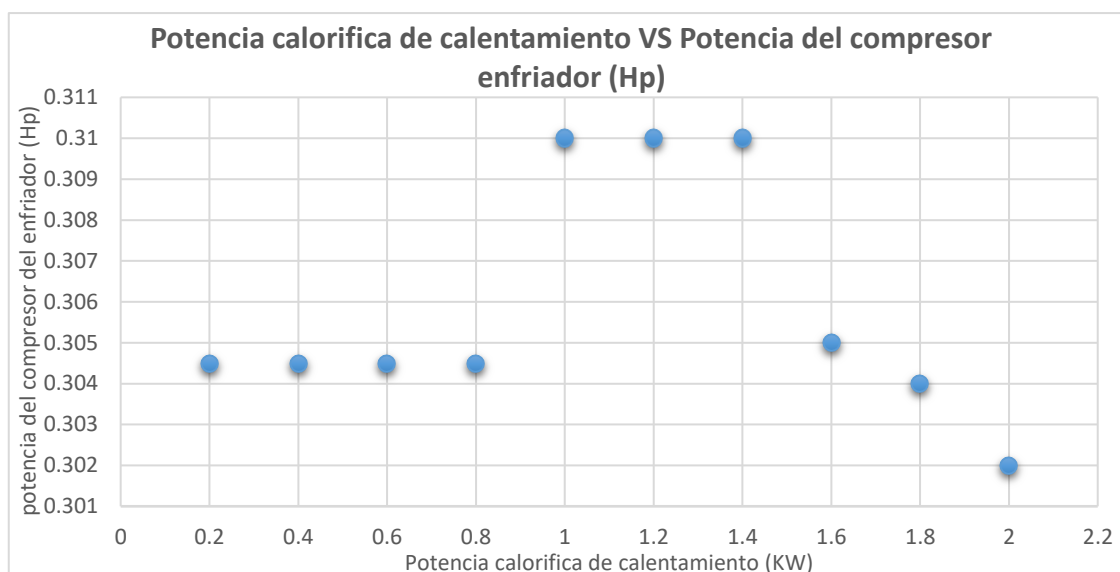


Figura 3. 26: Potencia calorífica de calentamiento VS Potencia del compresor del enfriador  
Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que un incremento de la potencia calorífica, disminuye el flujo másico de salmuera a alta temperatura producto del intercambio iónico del módulo membrana, por lo tanto, la potencia del enfriador disminuye así como la potencia del compresor del sistema de enfriamiento como se observa en la figura 3.23 y 3.24.

### 3.5.5.3 Comparación teniendo en cuenta la variación de la presión de bombeo

Q (caudal de ingreso(L/min))	Potencia calorífica (KW)	T ingreso	concentración	presión de la salmuera (Kpa)	T vapor(°C)	T salida salmuera(°C)	concentración de salida de salmuera
1	1.7	65	35%	100	90	80	35%
1	1.7	65	35%	200	90	80	35%
1	1.7	65	35%	300	90	80	35%
1	1.7	65	35%	400	90	80	35%
1	1.7	65	35%	500	90	80	35%
1	1.7	65	35%	600	90	80	35%
1	1.7	65	35%	700	90	80	35%
1	1.7	65	35%	800	90	80	35%
1	1.7	65	35%	900	90	80	35%
1	1.7	65	35%	1000	90	80	35%

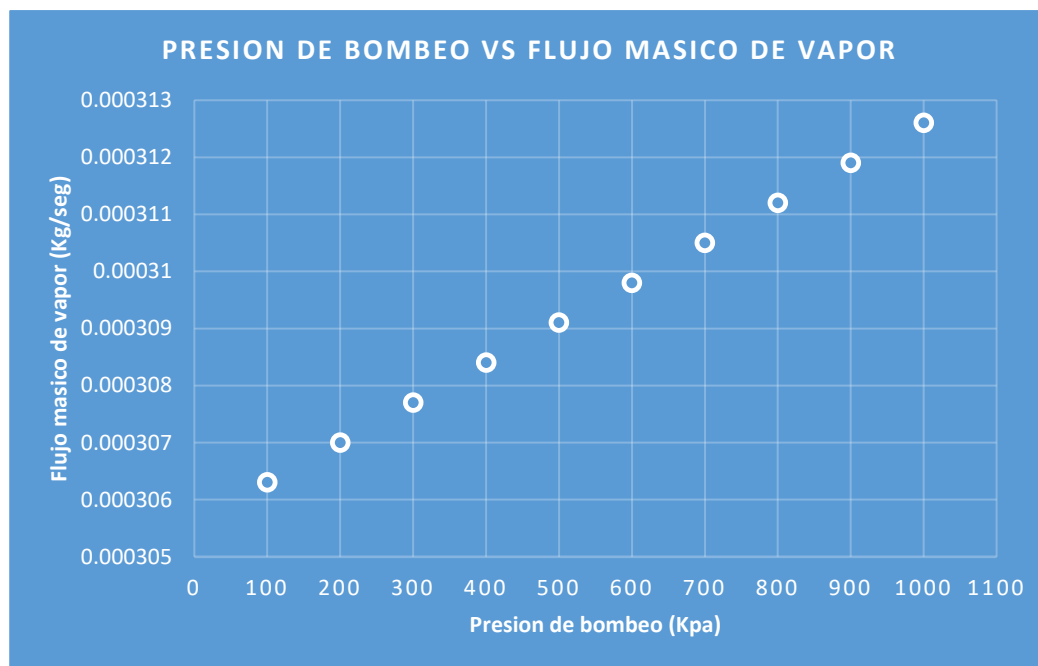


Figura 3. 27: Presión de bombeo VS Flujo másico de vapor  
Fuente: Elaboración propia

El incremento de la presión de bombeo, incrementará el flujo másico de vapor, pero este incremento no es significativo, debido a que esta presión de bombeo no influye significativamente con el flujo másico del vapor como se observa en la figura 3.25.

El flujo másico a la salida de salmuera a elevada temperatura, disminuye a medida que aumenta la presión de bombeo, pero esta disminución no es significativa como se observa en la figura 3.26.

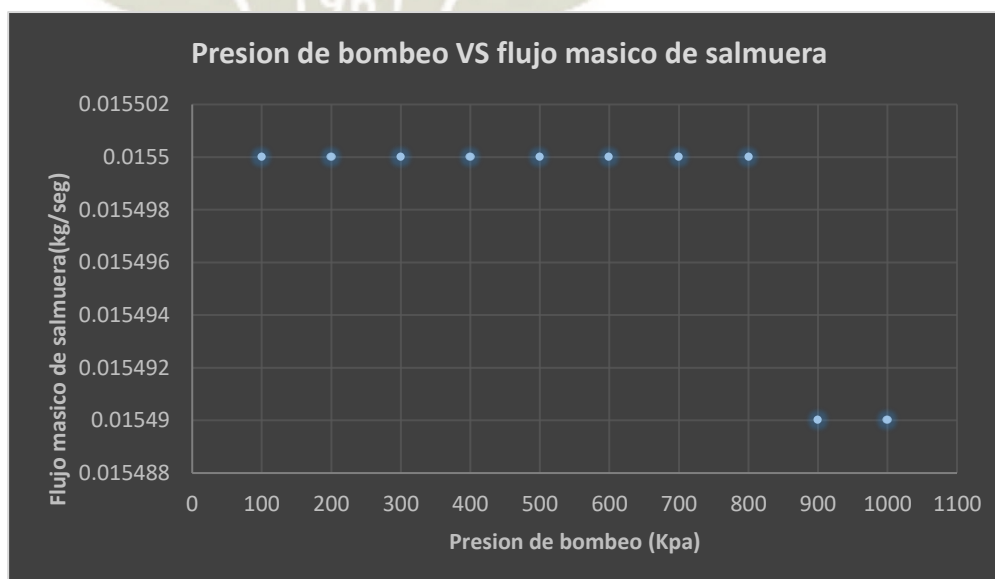


Figura 3. 28: Presión de bombeo VS flujo másico de salmuera de salida  
Fuente: Elaboración propia



## CAPÍTULO IV SELECCIÓN DE EQUIPOS Y PRESUPUESTO DEL PROYECTO

### 4.1 BOMBA DOSIFICADORA

Tabla 4. 1: Condiciones de trabajo de la bomba dosificadora

CANTIDAD	EQUIPO	CONDICIONES DE TRABAJO		Costo (USD)	Costo (S/.)
1	Bomba Dosificadora	Presión (P)	0- 10 Bar	3,605	11,968.6
		Caudal (Q)	0- 1 L/min		



Figura 4. 1: Bomba dosificadora

Fuente: [www.walchem.com/spanish/products/pumps/IX\\_SP.htm](http://www.walchem.com/spanish/products/pumps/IX_SP.htm)

Tabla 4. 2: Especificación técnica de la bomba dosificadora

ESPECIFICACION TECNICA	DESCRIPCION
Máxima capacidad L/Hr	60
Máxima capacidad L/min	1
Mínima Capacidad (mL/min)	1.3
Máxima presión Mpa (psi)	1 (145)
Consumo de energía promedio (W)	62
Amperaje (A)	0.8
Conexiones NPT	1/2"
Peso (Kg)	9
Viscosidad máxima (CPS)	1000
Rango de temperatura de operación	0 -50°C.
Rango de humedad de operación:	0-90% RH
Máxima capacidad de succión en seco	6.5 ft. (2m).

Fuente: Elaboración propia

#### Criterios de selección

-Se seleccionó la bomba dosificadora que tiene una presión de bombeo de 1 MPa y caudal de 1 L/min (Ver anexo A-1)

## 4.2 EQUIPO DE CALENTAMIENTO INDUCTIVO

Tabla 4. 3: Condiciones de trabajo del calentamiento inductivo

CANTIDAD	EQUIPO	CONDICIONES DE TRABAJO		Costo (USD)	Costo (S/.)
1	Calentador Inductivo	Temperatura (T)	0- 65 °C	800	2656
		Caudal (Q)	0- 1 L/min		
		Potencia (Kw)	3.5 kw		
		shippin a PERU por DHL de 2-6 Dias		450	1494
		TOTAL		1250	4150

Fuente: Elaboracion propia



Modelo	JL-15
Fuente de alimentación	Single phase 220V 50HZ
Potencia máxima	7 KW
Máxima corriente de entrada	37 A
Frecuencia de oscilación	30-100KHZ
temperatura de refrigeración	>0.2MPa 2-6L/Min ≤40°C
ciclo de trabajo	80%
Dimensiones(L*W*H)	500*210*460mm
Peso	22kg
Longitud del cable	2-6(Metros)

Figura 4. 2: Equipo de calentamiento inductivo

Fuente: [www.inductionchina.com/product/productshow.546html](http://www.inductionchina.com/product/productshow.546html)

### Criterios de selección:

Para seleccionar el equipo adecuado, este necesitaba cumplir las siguientes características:

Un equipo que permita controlar la temperatura de calentamiento

El calentamiento en línea deberá ser en un tiempo corto.

Compacto, que permita ahorrar espacio de instalación.

El calentamiento inductivo con este equipo, permite un calentamiento rápido, la temperatura deseada puede ser regulada, esta temperatura depende de la frecuencia eléctrica.

(Ver Anexo A-2)

### 4.3 HORNO CALENTADOR

Figura 4. 3: Horno de laboratorio



Fuente: [spanish.alibaba.com/product-detail/sta-two-zone-high-temperature-tube-laboratory-furnace-with-lower-price-60013514891.html?spm=a2700.8699010.29.1.651c515aZh7yFW](https://spanish.alibaba.com/product-detail/sta-two-zone-high-temperature-tube-laboratory-furnace-with-lower-price-60013514891.html?spm=a2700.8699010.29.1.651c515aZh7yFW)

Tabla 4. 4: Costo de horno tubular

ITEM	COMPONENTE	CANTIDAD	COSTO (S/.)	COSTO (S/.)
1	Horno Calentador Eléctrico	1	2860	7304

Fuente: Elaboración propia

### 4.4 SISTEMA DE CONDENSACIÓN DE VAPOR

Criterios de Selección:

El sistema de condensación debe tener una elevada área de transferencia de calor. Así como un elevado coeficiente de transferencia de calor, además ser compacto.

El material del sistema de condensación de vapor, debe resistir los problemas que se presentan debido a la corrosión.

#### 4.4.1 Intercambiador de calor coaxial de 1.7 kw

El funcionamiento del intercambiador de calor coaxial es el siguiente, ingresará el vapor a una temperatura de  $90^{\circ}\text{C}$ , un contraflujo de refrigerante R-134a que circula alrededor del serpentín de vapor, condensará el vapor, y posteriormente este condensado será medido y recolectado.



Tabla 4. 5: Costo del sistema de condensación de vapor

Item	Componente	Cantidad	Unidad	Costo (S./)/und	Costo (S./)
1	Compresor de 1/3 Hp	1	Und	S/380.00	S/380.00
2	Serpentin de condensador	1	Und	S/220.00	S/220.00
3	Ventilador	1	Und	S/60.00	S/60.00
4	Termostato	1	Und	S/21.00	S/21.00
5	Valvula de paso	1	Und	S/48.00	S/48.00
6	Filtro secador	1	Und	S/30.00	S/30.00
7	Presostato	1	Und	S/115.00	S/115.00
8	Mirilla	1	Und	S/45.00	S/45.00
9	Refrigerante R-134 a	2		S/32.50	S/65.00
10	Mano de obra				S/300.00
				Total	S/1,284.00

Item	Componente	Cantidad	Unidad	Costo (S./)/und	Costo (S./)
1	Unidad condensadora de 1/3 Hp	1	Und	S/1,284.00	S/1,284.00
2	Serpentín de condensación coaxial de 1.7 Kw	1	Und	S/535.00	S/535.00
3	Accesorios varios	1	Und	S/50.00	S/50.00
4	Instalación	10%			S/186.9
				Total	S/2056

Fuente: Elaboración propia

Figura 4. 5: Vista Frontal de Intercambiador de calor de 1.7 KW

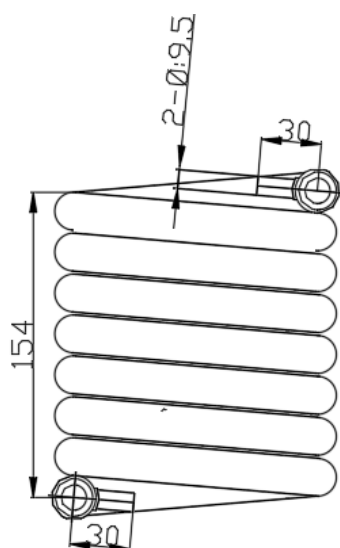
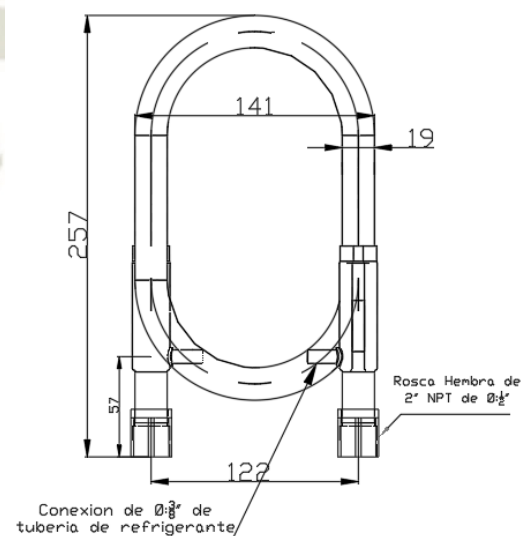

Fuente: HANGZHOU SHENSHI  
ENERGY CONSERVATION  
TECHNOLOGY CO. LTD

Figura 4. 4: Vista superior de Intercambiador de calor de 1.7 KW


Fuente: HANGZHOU SHENSHI  
ENERGY CONSERVATION  
TECHNOLOGY CO. LTD

Observaciones:

- El tubo interno del serpentín de enfriamiento es de acero Inoxidable 316, para evitar la corrosión. (ver Anexo A-4).

-La instalación del sistema de condensación se realizará mediante accesorios hidráulicos, además este serpentín de enfriamiento es compacto.

#### 4.5 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE SALMUERA

##### Criterios de Selección

El sistema de enfriamiento debe tener una elevada área de transferencia de calor, además un elevado coeficiente de transferencia de calor para que sea compacto.

El material del sistema de enfriamiento, debe resistir los problemas de corrosión de la salmuera (Agua+ Sal), ya que este fluido presenta un elevado problema de corrosión.

##### 4.5.1 Intercambiador de calor coaxial de 3.5 kw

El proceso es el siguiente, ingresará la salmuera (agua + sal) al intercambiador de calor, a una temperatura aproximada de 90°C, en contraflujo ingresará refrigerante R-134a, entonces el tubo interno de salmuera entrará en contacto con el refrigerante este se enfriará hasta una temperatura de 45°C.

Tabla 4. 6: Condiciones de trabajo del sistema de enfriamiento de salmuera

CONDICIONES DE TRABAJO	
Rango de Temperatura	90°C-45°C
Potencia del intercambiador de calor	3.5 Kw

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 7: Costo del sistema de enfriamiento de salmuera

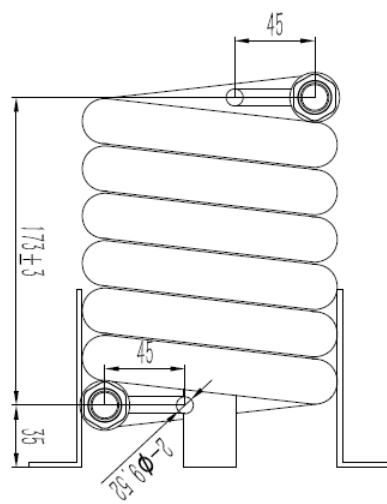
ITEM	COMPONENTE	CANTIDAD	COSTO (USD)	COSTO (S/.)
1	Serpentín de enfriamiento coaxial	1	161	S/535
2	Unidad condensadora de refrigerante 134ª de 1/3 Hp	1		S/1284
3	Tubería de cobre de Ø:3/8"	6 m		S/65
4	Accesorios varios	5%		S/64
5	Mano de obra	10%		S/194.8
	TOTAL			S/ 2142.8

Fuente: Elaboración propia

## Observaciones

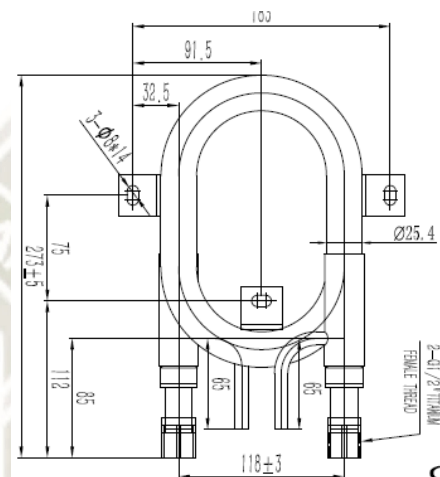
El material del tubo Interno del intercambiador de calor coaxial, es de una aleación de titanio debido a que la salmuera es muy corrosiva. (Ver Anexo A-5). Para realizar la instalación del intercambiador de calor coaxial tiene un racor hembra roscado de  $\varnothing:1/2''$ .

Figura 4. 6: Vista Frontal de Intercambiador de calor de 3.5 KW



Fuente: HANGZHOU SHENSHI  
ENERGY CONSERVATION  
TECHNOLOGY CO. LTD

Figura 4. 7: Vista superior de Intercambiador de calor de 3.5 KW



Fuente: HANGZHOU SHENSHI  
ENERGY CONSERVATION  
TECHNOLOGY CO. LTD

3.5KW

## 4.6 BOMBA DE VACÍO

### Criterios de Selección

- La presión de trabajo es de 100 Pa – 1 Bar
- Debido a que se necesita hacer vacío en una línea de vapor, es necesario tener un equipo con un sistema de protección para el vapor, o un equipo al cual no le afecte trabajar con residuos de vapor de agua.



Tabla 4. 8: Condiciones y costos de bomba de vacío

ITEM	CANTIDAD	EQUIPO	CONDICIONES DE TRABAJO		Costo (USD)	Costo (S/.)
1	1	Bomba de vacío	Presión de vacío	100 Pa- 1 Bar	1013	S/.3363.16
			Flujo			
Accesorios						
2	1	Manguera para vacío	1/4"ID x 5/8"OD Paquete x 10 pies (3.048m)		149	S/.494.68
3	1	Filtro de Membrana estéril GN-6 Metricel.	Rango de flujo de agua 65 mL/min/cm2 at 0.7 bar (70 kPa)		71	S/.235.72
					TOTAL	4093.56

Fuente: Elaboración propia



Figura 4. 8: Bomba de vacío

Fuente: Catalogo de equipos  
Cole Parmer

#### Observaciones

- La regulación del vacío se realizará mediante una válvula reguladora, la que vendrá junto con la bomba de vacío como accesorio.
- Para evitar que los residuos de vapor ingresen a la bomba y dañe el equipo se usará un matraz, que tendrá un filtro que absorberá el vapor para evitar que este ingrese y dañe el equipo.
- Debido a que el equipo trabaja con aceite que cubre la función de lubricante y refrigerante, se debe tener cuidado con el ingreso de residuos de vapor, que podrían dañar el equipo.

## 4.7 VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN

### Criterios de Selección

- La válvula reductora deberá de ser de Aceros Inoxidable 316 debido a que trabaja con un fluido corrosivo.
- La instalación de la válvula se realizará con accesorios hidráulicos.

Figura 4. 9: Regulador de presión de diafragma

#### Regulador de diafragma para servicio general (Serie KPR)

La serie KPR es un regulador compacto de excelente precisión, sensibilidad y estabilidad de la presión de consigna.

##### Características

- Diafragma corrugado, no perforado
- Cierre del diafragma metal - metal
- Bajo volumen interno
- Diseño de tapa de dos piezas que asegura una carga axial sobre el cierre del diafragma
- Filtro de doble malla de alto caudal en los puertos de entrada

##### Información técnica

###### Máxima presión de entrada

- 248 bar (3600 psig)
- 413 bar (6000 psig) con asiento de PEEK

###### Rangos de control de presión

- Desde 0 a 0,68 bar (10 psig) hasta 0 a 34,4 bar (500 psig)

###### Coefficiente de caudal ( $C_v$ )

- 0,06 y 0,20

Consulte los gráficos en la página 41.

- También disponibles 0,02 y 0,50

##### Variación en la presión de entrada (SPE)

Coeficiente de caudal ( $C_v$ )	Rango de control de presión	
	Hasta 6,8 bar (100 psig)	17,2 bar (250 psig) y superior
	Variación en la presión de entrada, %	
0,02	0,3	0,5
0,06	1,0	1,5
0,20	1,7	2,5
0,50	2,3	3,3

##### Máxima temperatura de servicio

- 80°C (176°F) con asiento de PCTFE
- 200°C (392°F) con asiento de PEEK
- 100°C (212°F) con asiento de PEEK y presión de entrada mayor que 248 bar (3600 psig)

##### Peso

- 1,1 Kg (2,4 lb)



##### Puertas

- 1/4 pulg NPT hembra en la entrada, salida y conexiones de manómetros (para cuerpos de todos los materiales)
- 1/4 pulg. soldadura de tubo a tope en la entrada, salida y puertas para manómetros (sólo para cuerpos de acero inoxidable 316)
- 1/4 pulg VCR® en la entrada, salida y conexiones de manómetros (cuerpos de acero inoxidable 316 únicamente)

Fuente: [www.swagelok.com](http://www.swagelok.com)

Tabla 4. 9: Condiciones de trabajo y costo de válvula reguladora de presión

ITEM	CANTIDAD	EQUIPO	CONDICIONES DE TRABAJO		Costo (USD)	Costo (S/.)
1	1	Válvula Reguladora de presión	Presión (P)	10 Bar	511.49	1698
			Caudal (Q)	0- 1 L/min		

Fuente: Elaboración propia

### Observaciones

- La regulación de la presión de salida se puede realizar de manera manual con la perilla de regulación.
- Para realizar la instalación de la válvula reguladora se usarán accesorios hidráulicos (SWAGELOK)

## 4.8 INSTRUMENTACIÓN

### 4.8.1 Termocupla para salmuera

#### Criterios de Selección

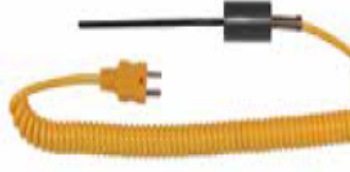
- La termocupla medirá la temperatura de la salmuera (Agua + Sal) por ello el material debe ser el adecuado para este fluido.
- La temperatura máxima de trabajo será de 100°C
- La presión máxima de operación 10 Bar
- La señal de salida en función de la temperatura es de 0-5 V

Tabla 4. 10: Listado de termocuplas para salmuera y condiciones de trabajo

Ítem	Equipo	Cantidad	Condición		Costo (USD)	Costo (S/.)
1	Termocuplas	2	0°C-30°C	P: 0-1 bar	\$160.00	S/531.20
2	Termocupla	1	0°C-70°C	P: 0-35 Kpa	\$80.00	S/265.60
3	Termocupla	1	0°C-90°C	P: 0-70 Kpa	\$80.00	S/265.60

Fuente: Elaboración propia

Figura 4. 10: Termocupla para salmuera

Sondas compactas revestidas con PFA con mango de PVC (con conexión a tierra). Para uso con sustancias químicas corrosivas y ácidos fuertes.						
J	SS 316 con revestimiento de PFA	Revestimiento: 4.5"L x 0.145" diám. Mango: 1.5"L Cable: 1.5 m cable bobinado. Miniconector	-310 a 400 (-190 a 204)	±7.9 °F (±4.4 °C) o ±0.4 % de medición superior a 32 °F (0 °C); ±2.0 % de medición inferior a 32 °F (0 °C)	<a href="#">YV-08441-10</a>	
K			-418 a 400 (-250 a 204)		<a href="#">YV-08441-12</a>	
T			-418 a 400 (-250 a 204)		<a href="#">YV-08441-14</a>	

Fuente: Catalogo virtual Cole Parmer

#### OBSERVACIONES

- -El material del sensor es de Acero Inoxidable 316
- -La temperatura máxima de funcionamiento de la termocupla es de 400°C
- -La presión máxima de operación de la termocupla es de 15 Bar
- -La instalación de la termocupla será realizada mediante accesorios hidráulicos.



#### 4.8.2 Termocupla para agua

##### Criterios de Selección

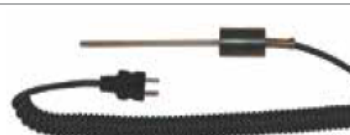
- -El material de la termocupla será de Acero Inoxidable 316
- -La temperatura máxima del sistema será de 100°C
- -La presión de funcionamiento es de 10 Bar
- -La señal de salida en función de la temperatura es de 0-5 V

Tabla 4. 11: Listado de termocuplas para agua y condiciones de trabajo

ITEM	EQUIPO	Cantidad	Condición		Costo (USD)	Costo (S/.)
1	Termocupla	1	0°C-90°C	P: 0-70 kpa	\$70.00	S/232.40
2	Termocupla	1	0°C-90°C	P: 0-70 kpa	\$70.00	S/232.40

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. 11: Termocupla para agua

Tipo	Materiales de revestimiento	Dimensiones†	Rango de temperatura en °F (°C)††	Precisión	Número de catálogo	Precio	Fotografía
Sondas compactas con mango de PVC (con conexión a tierra). Use con sustancias líquidas, gaseosas y semisólidas.							
J	SS 316	Revestimiento: 4.5"L x 0.125" diám. Mango: 1.5"L Cable: 1.5 m cable bobinado. Miniconector	-310 a 700 (-190 a 311)	±7.9 °F (±4.4 °C) o ±0.4 % de medición superior a 32 °F (0 °C); ±2.0 % de medición inferior a 32 °F (0 °C)	YV-08439-60		
K			-418 a 700 (-250 a 311)		YV-08439-62		
T			-418 a 700 (-250 a 311)	±3.6 °F (±2.0 °C) o ±0.4 % de medición superior a 32 °F (0 °C); ±0.8 % de medición inferior a 32 °F (0 °C)	YV-08439-64		

Fuente: Catalogo virtual Cole Parmer

#### 4.8.3 Sensor de presión

##### Criterios de Selección

- La presión máxima de operación: 10 Bar
- La temperatura máxima de operación: 90 °C
- El fluido de trabajo es salmuera (Agua + Sal) y vapor.
- El material del equipo deberá resistir a la corrosión de la salmuera y el vapor de agua
- La señal de salida del transductor de presión: 0-5 V

Tabla 4. 12: Cantidad de sensores de presión y condiciones de trabajo

Ítem	Equipo	Cantidad	Condición		Costo (USD)	Costo (S/.)
1	Sensor de presión	2	0 -10 Bar	T=90°C	\$502.00	S/1,666.64

Fuente: Elaboración propia

Observaciones:

El material del sensor es de acero inoxidable 316

La señal de salida del transductor de presión es de 0-5 V, dependiendo de las presiones medidas.

Como se observa la rosca del sensor de presión es de  $\varnothing:1/4"$ , como el tubo de acero inoxidable es de  $\varnothing: 3/8 "$  (9.5 mm), por lo que son necesarios los accesorios para realizar la instalación.



Figura 4. 12: Sensor de presión

Fuente: Ficha técnica de sensor de presión JUMO

#### 4.8.4 Manómetro de PVC (policloruro de vinilo)

Criterios de Selección:

El rango de temperatura de operación: Depende de la ubicación

Fluido de trabajo: Salmuera (Agua + Sal)

presión de trabajo: Depende de la ubicación del sensor

La conexión del manómetro al sistema es de  $\varnothing:3/8"$  (9.5 mm)

Tabla 4. 13:Listado de manómetro para salmuera y condiciones de trabajo

Item	Equipo	Cantidad	Condición		Costo (USD)	Costo (S/.)
1	Manómetro (S)	1	0-10 Bar	T=30°C	\$380.00	S/1,261.60
2	Manómetro (S)	1	0-1 Bar	T=45°C	\$380.00	S/1,261.60

Fuente: Elaboración propia

**Figura 4. 13: Manómetro de PVDF cos de PVDF y PP**

**No se rompen si se los somete a presión**

- Moldeados a partir de una mezcla más resistente de polímeros, lo que los hace más resistentes a las fisuras o grietas durante su instalación o uso
- Ideales para usarlos con agua ultrapura y sustancias químicas corrosivas
- Sello de diafragma y medidor moldeados en una unidad
- Todas las carcasas son secas pero pueden rellenarse

Medidor de PVDF 68000-11



#### Especificaciones

<b>Precisión:</b> ±1.5 % de la escala completa	<b>Temperatura de funcionamiento:</b> -4 a 140 °F (-20 a 60 °C)	<b>Lente:</b> vidrio para servicio pesado
<b>Unidades de medida:</b> psi, bar y kPa	<b>Materiales humectados:</b> PTFE o Viton	<b>Conexión del proceso:</b> ¼" o ½" NPT (F)
		<b>Tamaño del dial:</b> 2½" (64 mm)

Fuente: Catalogo virtual Cole Parmer

Observaciones:

- Se seleccionó el manómetro de PVDF (Fluoruro de Polivinilo), debido a la salmuera es un fluido corrosivo, este manómetro funciona con glicerina. La conexión roscada del manómetro es NPT de Ø:1/4"
- Temperatura máxima de trabajo: 60°C
- El manómetro YV-68000-03 mide de: 0-30 psi.
- El manómetro YV-68000-11 mide de: 0-200 psi. (Ver anexo A-11)

#### 4.8.5 Manómetro para agua

Criterios de selección

- El rango de temperatura de operación: 20-30°C
- Fluido de trabajo: Agua
- Presión de trabajo de línea de baja: 0-1Bar
- La conexión del manómetro es de Ø:3/8" (9.5 mm)

Tabla 4. 14: Manómetro para líquidos y condiciones de operación

Item	Equipo	Cantidad	Condición		Costo (USD)	Costo (S/.)
1	Manómetro	1	0-1Bar	T=25°C	\$300.00	S/2,523.20

Fuente: Elaboración propia



### Medidores de presión llenos

El movimiento  
exclusivo aísla las  
vibraciones en el  
medidor

- El relleno con glicerina y el amortiguador de presión minimizan las fluctuaciones de la aguja causadas por los rápidos cambios de presión, vibraciones o sobrevoltaje



#### Especificaciones

Precisión:  $\pm 1\%$  de la escala completa  
Tamaño del dial:  $2\frac{1}{2}"$  (64 mm)  
Temperatura de funcionamiento:  $-50$  a  $180$  °F  
( $-45$  a  $82$  °C)  
Materiales humectados: acero inoxidable 316  
Lente: policarbonato  
Conexión de proceso:  $\frac{1}{4}"$  NPT (M)

Figura 4. 14: Manómetro para líquido (Agua)

Range	Catalog number	Price
30 to 0" Hg	<a href="#">GY-68022-00</a>	
30" Hg to 30 psi	<a href="#">GY-68022-01</a>	
0 to 30 psi	<a href="#">GY-68022-02</a>	
0 to 60 psi	<a href="#">GY-68022-03</a>	
0 to 100 psi	<a href="#">GY-68022-04</a>	
0 to 200 psi	<a href="#">GY-68022-05</a>	
0 to 1000 psi	<a href="#">GY-68022-07</a>	
0 to 3000 psi	<a href="#">GY-68022-09</a>	

Fuente: Catalogo Virtual Cole

#### Observaciones

- El material del manómetro es de acero inoxidable 316
- La conexión roscada del manómetro al sistema es NPT Ø:1/4"
- Rango de presión: 0-30 psi.
- Temperatura máxima de trabajo: 82°C (Ver anexo A-12)

### 4.8.6 Flujoómetro de medición magnética

#### Criterios de Selección

- El fluido a medir es salmuera este es un fluido corrosivo.
- El flujo a medir varia en un rango de 0-1 L/min.
- Presión de trabajo: 1 Bar.
- Señal de salida en función del flujo medido de 0-5 V.

Tabla 4. 15: Sensor de caudal y condiciones de operación

Item	Equipo	Cantidad	Condición		Costo (USD)	Costo (S/.)
1	Sensor de caudal	1	Q = 0 - 1L/min; Pmin= 1bar	T= 45°C	\$3,330.00	S/11,055.60
2	Accesorio	1	Q = 0 - 1L/min; Pmin= 1bar	T= 45°C	\$ 265	S/. 882.45
					TOTAL	S/11 938

Fuente: Elaboración propia



Figura 4. 15: Sensor de caudal electromagnético

Fuente: Catalogo virtual Cole Parmer

### Observaciones

Se seleccionó un medidor electromagnético debido a las siguientes razones

- El medidor electromagnético permite medir flujos de sustancias corrosivas debido a que su principio de funcionamiento no se debe a un contacto directo.
- Este flujómetro permite medir flujos pequeños como en nuestro caso de 0-1 L/min
- Temperatura máxima de trabajo: 85 °C
- Salida de voltaje de 0-5 V dependiendo del flujo medido.

Para realizar la instalación del sensor al sistema se necesita una Tee, que es de polipropileno, este accesorio es de la misma marca.

#### 4.8.7 Accesorio para instalación de flujómetro electromagnético



Figura 4. 16: Tee de polipropileno

Fuente: Catalogo Virtual Cole Parmer

### Observaciones

-Debido a que la salmuera es corrosiva se eligió una Tee de policloruro de vinilo (PVC 80)

-Se tiene que tener la tubería llena de agua para que, la medición del flujo se haga de manera correcta.

-Para la conexión al sistema el diámetro de la TEE es de  $\varnothing:1/2''$  (Ver anexo A-14)

### 4.8.8 Flujómetro tipo turbina

#### Criterios de Selección

- Flujo a medir: 0-1 L/min
- Presión de trabajo: 1 Bar
- Temperatura de fluido: 90°C

Tabla 4. 16: Flujómetro de agua y condiciones de operación

Equipo	Cantidad	Condición		Costo (USD)	Costo (S/.)
Sensor de caudal	1	Q = 0 - 1L/min; Pmin= 1bar	T= 90°C	1,691.70	5,616.44

Fuente: Elaboración propia



Figura 4. 17: Sensor de caudal tipo turbina

Fuente: Ficha Técnica de sensor de caudal Blue-White

### Observaciones

-El principio de medición de este sensor, es por medio de una paleta giratoria, la cual gira con el paso del flujo.

-El sensor de flujo produce un voltaje de salida de 0-5 V, dependiendo del flujo de agua.

-Rango de trabajo: 0-1000 ml/min

-Temperatura máxima de trabajo: 93°C

-Material del flujómetro de PVDF (fluoruro de polivinilideno)



-Conexión del flujómetro al sistema es NTP de Ø:3/8"

-El proveedor del sensor de flujo de agua es de la marca BLUE-WHITE

#### 4.9 PRESUPUESTO DE INSTRUMENTACIÓN

Tabla 4. 17: Listado de sensores de instrumentación y costos

Ítem	Equipo	Cantidad	Condición		Costo (USD)	Costo (S/.)
1	Termocupla para salmuera	1	0°C-30°C	P: 0-10 bar	\$160.00	S/531.20
2	Termocupla para salmuera	1	0°C-70°C	P: 0-35 Kpa	\$80.00	S/265.60
3	Termocupla para salmuera	1	0°C-90°C	P: 0-70 Kpa	\$80.00	S/265.60
4	Termocupla para agua	1	0°C-90°C	P: 0-70 Kpa	\$70.00	S/232.40
5	Sensor de presion	1	P: 0-10 Bar	T: 30 °C	\$1,004.00	S/3333.28
6	Sensor de presión	1	P:0-10 Bar	T:90°C	\$1,004.00	S/3,333.28
11	Manómetro de PVDF	1	0-10 Bar	T:65°C	\$380.00	S/1,261.60
12	Manómetro de PVDF	1	0-1Bar	T:45°C	\$380.00	S/1,261.60
13	Manómetro para condensado	1	0-1Bar	T:30°C	\$300.00	S/996.00
14	Sensor de caudal para salmuera	1	Q:0 - 1L/min; Pmin: 1Bar	T:45°C	\$3,595.00	S/11,935.60
15	Sensor de caudal para agua	1	Q:0 – 1L/min; Pmin:1 Bar	T= 90°C	\$1,691.70	S/5,616.44
					TOTAL	S/29,032.404

Fuente: Elaboración propia

#### 4.10 TUBERÍAS Y ACCESORIOS

Las tuberías y los accesorios son de acero inoxidable 316, de la marca SWAGELOK, se eligió acero inoxidable 316 debido a que el fluido de trabajo es la salmuera, este fluido es corrosivo.

CONDICIONES DE TRABAJO	
Rango de T°	0-90°C
Rango de P	0-10 bar

Tabla 4. 18: Tuberías, válvulas y condiciones de operación

Ítem	Accesorio	Descripción	Material	Cantidad	Costo (S/.)
1	Tubería de Ø:3/8” de e:0.035” (0.89 mm) x 6m	P: 10 Bar	inox 316	1	230.51
2	Codo de 90° para tubería de Ø:3/8"	P: 10 Bar	inox 316	14	350
3	Val. reductora de presión para tubería de Ø:3/8"	10 bar a 1 bar	inox 316	1	1698
4	válvula de paso para tubería Ø:3/8"	Pmax: 10 Bar Q: 1 L/min	inox 316	2	754.5
				TOTAL	3033.01

Fuente: Elaboración propia

#### 4.11 PRESUPUESTO DEL PROYECTO

Tabla 4. 19: costo de accesorios para la instalación de instrumentación

Item	Equipo	Cantidad	Condición		Costo (USD)	Costo (S/.)
1	Racor recto reductor de Ø:1/4 " para instalación de Ø: 3/8"	1	0°C-80°C	P: 0-10 bar	\$15.00	S/49.80
2	TEE Hembra de rosca NPT de Ø:1/4" para instalación de Ø:3/8"	7	0°C-100°C	P: 0-10 bar	\$15.00	S/348.6
3	Conector macho roscado de Ø:1/4" para instalación de Ø:1/8"	4	0°C-100°C	P: 0-10 bar	\$15.00	S/149.4
4	Adaptador de tubo roscado de Ø:1/4" para tubería de flexible de Ø:1/4"	1	0°C-50°C	P: 0-10 bar	\$15.00	S/99.60
5	Conector macho roscado de Ø:1/4" para tubería de Ø:3/8"	2	0°C-100°C	P: 0-10 bar	\$15.00	S/99.60
6	Conector con racor de Ø:1 " para una tubería de instalación de Ø:3/8 "	2	0°C-50°C	P: 0-10 bar	\$15.00	S/99.60
7	Soporte para tubería de Ø:3/8"	15			\$10.00	S/498.00
Total						S/1,344

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 20: Costo de fabricación de estructura

Item	Componente	Cantidad	Unidad	Costo (S./)/ unidad	Costo (S./.)
1	Plancha de acero de 1.2 m x 2.4 m de e=1mm	3	und	42.5	S/127.40
2	Platina de 5/8" de e= 2 mm	1	und	8	S/8.00
3	Platina de 1" de e= 2 mm	1	und	12	S/12.00
4	Angulo de 1"x1"x1.5 mm	2	und	14.1	S/28.20
5	Soldadura	5	Kg	14	S/42.00
6	Mano de obra				S/330.00
7	Pintura				S/70.00
TOTAL					S/617.60

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 21 : Presupuesto del proyecto

ITEM	COMPONENTE	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO (S/.)
1	Bomba dosificadora	1	UNIDAD	S/11,968.60
2	Sistema de calentamiento inductivo	1	UNIDAD	S/4,150.00
3	Horno Calentador	1	UNIDAD	S/7,304.00
4	Sistema de enfriamiento	2	UNIDAD	S/1,177.14
5	Sistema de condensación	1	UNIDAD	S/1,603.02
6	Bomba de vacío	1	UNIDAD	S/409.00
8	Tuberías y accesorios	1	UNIDAD	S/3,033.01
9	Estructura			S/617.6
10	Instrumentación			S/29,032.4
11	Accesorios para Instalación			S/1,344
TOTAL				S/. 60,638.77

Fuente: Elaboración propia





## CONCLUSIONES

1. Se realizó un previo estudio del método de desalinización por pervaporación para comprender el principio de desalinización que emplea este proceso, así como los diferentes subprocesos que forma parte de este tratamiento de agua. Esto con el fin de establecer los parámetros de diseño del módulo.
2. Los estudios de los diferentes métodos de desalinización mediante membranas actualmente empleados colocan a la desalinización por pervaporación, como el proceso que puede desalinizar agua con elevadas concentraciones de sal hasta 50 gr/ L, con presiones de 7-10 Bar, estas características hacen que este proceso sobresalga frente a los demás métodos de desalinización.
3. Asimismo, se realizó en previo estudio del empleo de las membranas de grafeno en la desalinización por pervaporación, para conocer mejor el desempeño de estas membranas en este proceso, para tener un diseño óptimo del módulo para estas membranas.
4. Las membranas de grafeno tienen un gran potencial para la desalinización, ya que estas ofrecen una mayor estabilidad, un flujo de agua desalinizada casi constante a pesar de aumentar la concentración de sal, mayor número de horas de operación de desalinización, además un 99.9 % de rechazo de sal y de otras impurezas.
5. Según los estudios previos mencionados además de un análisis térmico, se seleccionaron equipos y componentes adecuados para poder llevar a cabo el diseño del módulo de desalinización por pervaporación para membranas de grafeno.
6. El costo total del proyecto incluyendo los equipos, sensores y accesorios hidráulicos para poder llevar a cabo la instalación de estos equipos es de S/. 60,638.77 nuevos soles.

## RECOMENDACIONES

1. Según el previo estudio realizado, el flujo de agua desalinizada no se ve casi afectada ante un incremento de la concentración de sal, este ligero efecto según algunos estudios se debe al taponamiento de los nanoporos de la membrana, es por ello que se debe realizar un análisis físico químico de los nanoporos que conforman las membranas, de cuanto es la concentración de sal que puede hacer que estas se saturen.
2. Para reducir el consumo energético del proceso de desalinización, se podría diseñar un sistema tanto para el precalentamiento y calentamiento, que aproveche la energía solar, este sistema mejoraría el proceso haciéndolo más eficiente.
3. Para una mejor eficiencia de desalinización, se debería de mejorar la eficiencia de las membranas de grafeno, esto implica un mejoramiento en el diseño estructural de estas membranas, así como el módulo de membrana, ya que para cada diseño de modulo específico, se necesita su propio tipo de membrana.
4. Las pérdidas de calor en el sistema del módulo podría disminuir, si tendríamos un sistema más compacto o también se podría usar aislante térmico, para contrarrestar esta perdida. Tener en cuenta siempre un análisis térmico para realizar seleccionar el aislante térmico, así como el espesor de este.
5. Para reducir la caída de presión en el sistema, se tendría que tener un módulo más compacto, además de colocar una menor cantidad de accesorios hidráulicos. esto evitaría que la presión decaiga a lo largo del proceso. Además de realizar un análisis hidráulico de caída de presión del sistema.
6. Se podría mejorar el consumo energético, diseñando un sistema de intercambiador de calor que permita aprovechar el calor producto de la condensación del vapor. Para realizar el precalentamiento de la solución salina de alimentación. Esto mejoraría la eficiencia del proceso.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Alkhudhiri, A., Darwish, N., & Hilal, N. (2012). Membrane distillation : A comprehensive review. *DES*, 287, 2–18. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.08.027>
2. Anand, A., Unnikrishnan, B., Mao, J., Lin, H., & Huang, C. (2018). Graphene-based nano fi ltration membranes for improving salt rejection , water fl ux and antifouling – A review G R A P H I C A L A B S T R A C T. *Desalination*, 429(December 2017), 119–133. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.12.012>
3. Bhadra, M., Roy, S., & Mitra, S. (2016). Desalination across a graphene oxide membrane via direct contact membrane distillation. *Desalination*, 378, 37–43. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.09.026>
4. Kaminski, W., Marszalek, J., & Tomczak, E. (2018). Water desalination by pervaporation – Comparison of energy consumption. *Desalination*, 433(June 2017), 89–93. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2018.01.014>
5. Manufacturing, C., South, C., & Jiaotong, X. (2018). Desalination by pervaporation. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815818-0.00006-0>
6. Ndiaye, D. (2017). Transient model of a refrigerant-to-water helically coiled tube-in-tube heat exchanger with corrugated inner tube. *Applied Thermal Engineering*, 112, 413–423. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.10.045>
7. Qian, X., Li, N., Wang, Q., & Ji, S. (2018). Chitosan/graphene oxide mixed matrix membrane with enhanced water permeability for high-salinity water desalination by pervaporation. *Desalination*, 438(March), 83–96. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2018.03.031>
8. Sheth, H. (2016). Human rights of mentally ill clients. *International Journal of Psychosocial Rehabilitation*, 20(2), 25–33. <https://doi.org/10.1039/x0xx00000x>
9. Smitha, B., Suhanya, D., Sridhar, S., & Ramakrishna, M. (2004). Separation of organic-

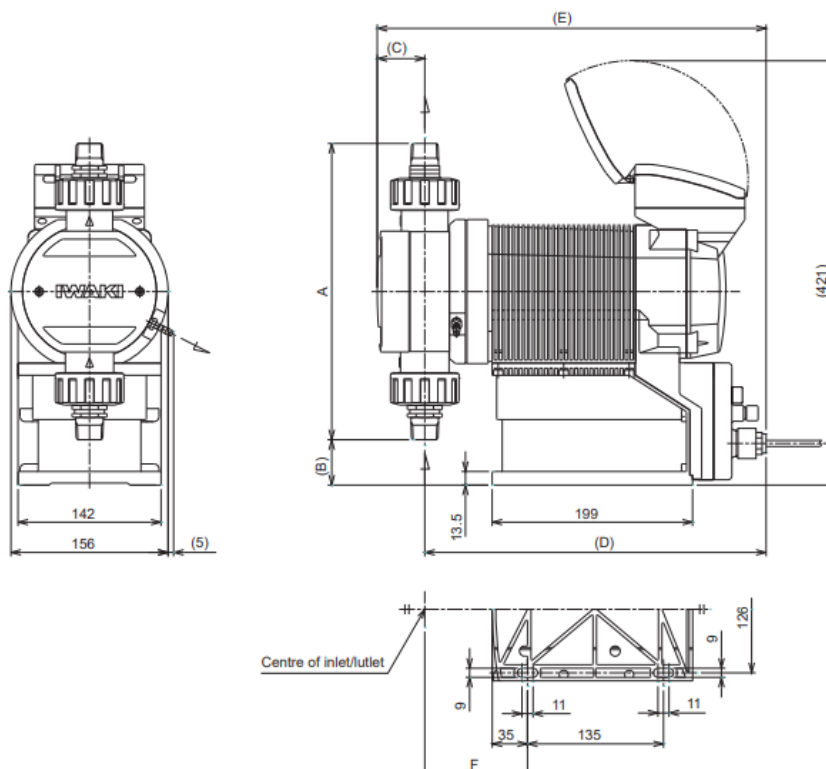


- organic mixtures by pervaporation - A review. *Journal of Membrane Science*, 241(1), 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2004.03.042>
10. Walaa. (2012). Microsoft Word - Desalination Final UNESCO report, (4500103693), 1–28. Retrieved from [papers2://publication/uuid/328A25E2-1472-49F7-981C-44F8CC0E9769](https://papers2://publication/uuid/328A25E2-1472-49F7-981C-44F8CC0E9769)
11. Wang, Q., Li, N., Bolto, B., Hoang, M., & Xie, Z. (2016). Desalination by pervaporation: A review. *Desalination*, 387, 46–60. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.02.036>
12. Xie, Z., Ng, D., Hoang, M., Duong, T., & Gray, S. (2011). Separation of aqueous salt solution by pervaporation through hybrid organic-inorganic membrane: Effect of operating conditions. *Desalination*, 273(1), 220–225. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.10.026>
13. Yunus A. Cengel, Michael A. Boiles 7Th Edición

## ANEXO A INSTALACIÓN DE EQUIPOS

### A-1 INSTALACIÓN DE BOMBA DOSIFICADORA

Dimensiones de la Bomba dosificadora



Fuente: Catalogo de bombas IWAKI IX-C

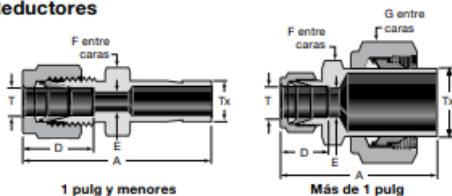
Consideraciones

La bomba dosificadora consta con una conexión roscada NPT de  $\varnothing:1/2''$

**Racor Recto “Reductor”**

#### Racores rectos

##### Reductores



Racor para tubo

Fuente: Catalogo de racores para tubo  
Swagelok

#### Reductor (Fraccional)

Ø Ext. Tubo		Referencia Básica	Dimensiones				
T	Tx		A	D	E	F	G
Dimensiones, pulg							
1/16	1/8 1/4	-100-R-2 -100-R-4	1,15 1,24	0,34	0,05	5/16	—
1/8	1/16	-200-R-1	1,14	0,50	0,03	7/16	—
	1/8	-200-R-2	1,32		0,08	7/16	
	3/16	-200-R-3	1,35		0,09	7/16	
	1/4	-200-R-4	1,42		0,09	7/16	
	3/8	-200-R-6	1,48		0,09	7/16	
	1/2	-200-R-8	1,74		0,09	9/16	
3/16	1/8 1/4	-300-R-2 -300-R-4	1,37 1,46	0,54	0,08 0,12	7/16	—
1/4	1/8	-400-R-2	1,45	0,60	0,08	1/2	—
	3/16	-400-R-3	1,48		0,12	1/2	
	1/4	-400-R-4	1,54		0,17	1/2	
	5/16	-400-R-5	1,57		0,19	1/2	
	3/8	-400-R-6	1,60		0,19	1/2	
	1/2	-400-R-8	1,82		0,19	9/16	
	5/8	-400-R-10	1,89		0,19	11/16	
	3/4	-400-R-12	1,88		0,19	13/16	
5/16	3/8 1/2	-500-R-6 -500-R-8	1,65 1,87	0,64	0,25	9/16	—
3/8	1/4	-600-R-4	1,63	0,66	0,17	5/8	—
	3/8	-600-R-6	1,70		0,27	5/8	
	1/2	-600-R-8	1,91		0,28	5/8	
	5/8	-600-R-10	1,98		0,28	11/16	
	3/4	-600-R-12	1,98		0,28	13/16	

En la entrada de la tubería del sistema se conectará un “Racor Reductor de Ø:3/8” a Ø:1/4” de acero inoxidable 316 de la marca “SWAGelok”, una vez instalado el racor recto, se conectará la manguera flexible

## A-2 INSTALACION DE LOS SENSORES DE TEMPERATURA

### Sensor de temperatura

Sondas compactas revestidas con PFA con mango de PVC (con conexión a tierra). Para uso con sustancias químicas corrosivas y ácidos fuertes.						
J	SS 316 con revestimiento de PFA	Revestimiento: 4.5"L x 0.145" diám. Mango: 1.5"L Cable: 1.5 m cable bobinado. Miniconector	-310 a 400 (-190 a 204)	±7.9 °F (±4.4 °C) o ±0.4 % de medición superior a 32 °F (0 °C); ±2.0 % de medición inferior a 32 °F (0 °C)	<a href="#">YV-08441-10</a>	
K			-418 a 400 (-250 a 204)		<a href="#">YV-08441-12</a>	
T			-418 a 400 (-250 a 204)	±3.6 °F (±2.0 °C) o ±0.4 % de medición superior a 32 °F (0 °C); ±0.8 % de medición inferior a 32 °F (0 °C)	<a href="#">YV-08441-14</a>	

Fuente: Catalogo Virtual Cole Parmer

-La conexión de la termocupla sera a travez de una T roscada

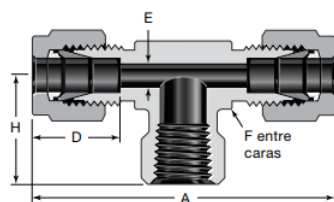
### DIMENSIONES DE LA TERMOCUPLA

-Ø termocupla: 3.68 mm (0.145")

-Longitud del cable 1.5 m

### TEE Hembra de NPT Ø:1/4"

#### Hembra



#### TEE Hembra roscada Lateral, Rosca NPT (TTF)

Ø Ext. Tubo	Tamaño NPT pulg	Referencia Básica	Dimensiones				
			A	D	E	F, pulg	H
Dimensiones, pulg							
1/8	1/8	-200-3TTF	1,94	0,50	0,09	1/2	0,75
1/4	1/8	-400-3TTF	2,12	0,60	0,19	1/2 11/16	0,75
	1/4	-400-3-4TTF	2,34				0,88
3/8	1/4	-600-3TTF	2,46	0,66	0,28	11/16 13/16 1	0,88
	3/8	-600-3-6TTF	2,62				0,88
	1/2	-600-3-8TTF	2,84				1,12
1/2	1/4	-810-3-4TTF	2,84	0,90	0,41	13/16 13/16 1	0,88
	3/8	-810-3TTF	2,84				0,88
	1/2	-810-3-8TTF	3,06				1,12
5/8	1/2	-1010-3TTF	3,06	0,96	0,50	1	1,12
3/4	3/4	-1210-3TTF	3,52	0,96	0,62	1 3/8	1,25
1	3/4	-1610-3-12TTF	3,86	1,23	0,88	1 3/8 1 11/16	1,25
	1	-1610-3TTF	4,22				1,50

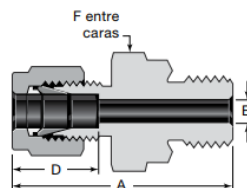
Fuente: Catalogo de racores para tubo Swagelok

-Para realizar la instalacion de la termocupla se instalara primeramente la TEE hembra roscada NPT de Ø: 1/4", para un diametro de tubería Ø:3/8"



### Conector macho roscado NPT de Ø:1/4"

#### Conectores macho



Conector macho roscado

Fuente: Catalogo de racores para tubo Swagelok

#### NPT

Ø Ext. Tubo	Tamaño NPT	Referencia Básica	Dimensiones			
			A	D	E <sup>①</sup>	F
Dimensiones, pulg						
1/16	1/16	-100-1-1	0,94	0,34	0,05	5/16
	1/8	-100-1-2	1,03			7/16
	1/4	-100-1-4	1,22			9/16
1/8	1/16	-200-1-1	1,17	0,50	0,09	7/16
	1/8	-200-1-2	1,20			7/16
	1/4	-200-1-4	1,40			9/16
	3/8	-200-1-6	1,41			11/16
	1/2	-200-1-8	1,66			7/8
3/16	1/8	-300-1-2	1,23	0,54	0,12	7/16
	1/4	-300-1-4	1,43			9/16

El conector macho roscado de NPT Ø:1/4" para tubería de Ø: 1/8", se roscará sobre la TEE hembra roscada NPT de Ø: 1/4"

Una vez instalado el conector macho sobre la TEE Hembra de rosca NPT de Ø:1/4", se instalará la termocupla de Ø:3.68 mm

### A-3 INSTALACIÓN DE MANÓMETRO PARA SALMUERA

#### Manómetro de PVDF

#### Medidores de presión mecánicos de PVDF y PP

No se rompen si se los somete a presión

- Moldeados a partir de una mezcla más resistente de polímeros, lo que los hace más resistentes a las fisuras o grietas durante su instalación o uso
- Ideales para usarlos con agua ultrapura y sustancias químicas corrosivas
- Sello de diafragma y medidor moldeados en una unidad
- Todas las carcasas son secas pero pueden rellenarse

Medidor de PVDF 68000-11



#### Especificaciones

Precisión: ±1.5 % de la escala completa

Unidades de medida: psi, bar y kPa

Temperatura de funcionamiento: -4 a 140 °F (-20 a 60 °C)

Materiales humectados: PTFE o Viton

Lente: vidrio para servicio pesado

Conexión del proceso: 1/4" o 1/2" NPT (F)

Tamaño del dial: 2 1/2" (64 mm)

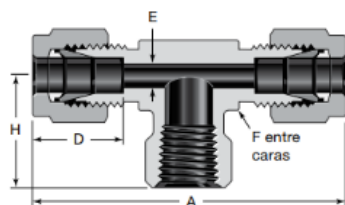
Fuente: Catalogo virtual Cole Parmer

El manómetro de PVDF consta de una conexión roscada NPT de Ø:1/4"

### TEE Hembra NPT de Ø:1/4"

TEE Hembra roscada

Hembra



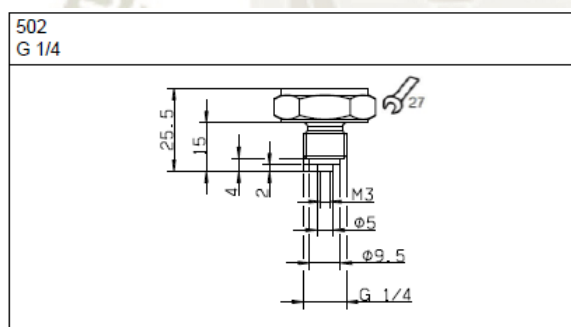
Lateral, Rosca NPT (TTF)

Ø Ext. Tubo	Tamaño NPT pulg	Referencia Básica	Dimensiones				
			A	D	E	F, pulg	H
Dimensiones, pulg							
1/8	1/8	-200-3TTF	1,94	0,50	0,09	1/2	0,75
1/4	1/8	-400-3TTF	2,12	0,60	0,19	1/2	0,75
	1/4	-400-3-4TTF	2,34			11/16	0,88
3/8	1/4	-600-3TTF	2,46	0,66	0,28	11/16	0,88
	3/8	-600-3-6TTF	2,62			13/16	0,88
	1/2	-600-3-8TTF	2,84			1	1,12
1/2	1/4	-810-3-4TTF	2,84	0,90	0,41	13/16	0,88
	3/8	-810-3TTF	2,84			13/16	0,88
	1/2	-810-3-8TTF	3,06			1	1,12
5/8	1/2	-1010-3TTF	3,06	0,96	0,50	1	1,12
3/4	3/4	-1210-3TTF	3,52	0,96	0,62	1 3/8	1,25
1	3/4	-1610-3-12TTF	3,86	1,23	0,88	1 3/8	1,25
	1	-1610-3TTF	4,22			1 11/16	1,50

Fuente: Catalogo de racores para tubo Swagelok

Se instalará el manómetro de PVDF sobre la TEE Hembra NPT de Ø: 1/4", para tubería de Ø:3/8",

### A-4 INSTALACIÓN DEL SENSOR DE PRESIÓN



Type 401008 with cable socket

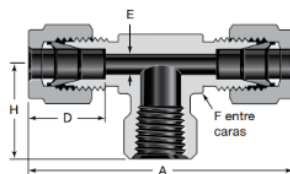
Sensor de presión JUMO

Fuente: Ficha técnica de sensor de presión JUMO

El sensor de presión consta de una conexión roscada NPT de Ø:1/4"

### Tee Hembra NPT de Ø:1/4"

Hembra



Lateral, Rosca NPT (TTF)

Ø Ext. Tubo	Tamaño NPT pulg	Referencia Básica	Dimensiones				
			A	D	E	F, pulg	H
Dimensiones, pulg							
1/8	1/8	-200-3TTF	1,94	0,50	0,09	1/2	0,75
1/4	1/8	-400-3TTF	2,12	0,60	0,19	1/2	0,75
	1/4	-400-3-4TTF	2,34			11/16	0,88
3/8	1/4	-600-3TTF	2,46	0,66	0,28	11/16	0,88
	3/8	-600-3-6TTF	2,62			13/16	0,88
	1/2	-600-3-8TTF	2,84			1	1,12
1/2	1/4	-810-3-4TTF	2,84	0,90	0,41	13/16	0,88
	3/8	-810-3TTF	2,84			13/16	0,88
	1/2	-810-3-8TTF	3,06			1	1,12
5/8	1/2	-1010-3TTF	3,06	0,96	0,50	1	1,12
3/4	3/4	-1210-3TTF	3,52	0,96	0,62	1 3/8	1,25
1	3/4	-1610-3-12TTF	3,86	1,23	0,88	1 3/8	1,25
	1	-1610-3TTF	4,22			1 11/16	1,50

Tee Hembra roscada

Fuente: Catalogo de racores swagelok

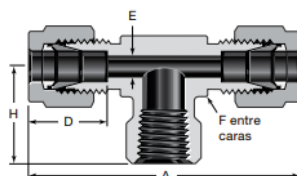
La conexión del sensor de presión se realizará, mediante una TEE roscada hembra NPT de Ø:1/4", con conexión para una tubería de Ø:3/8" (Ver Anexo B-3)

## A-5 ACCESORIOS PARA LA INSTALACIÓN DE LA BOMBA DE VACÍO

### TEE hembra roscada NPT de Ø:1/4"

Tes

Hembra



Lateral, Rosca NPT (TTF)

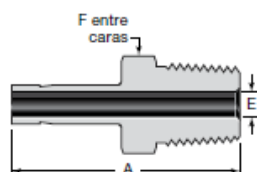
Ø Ext. Tubo	Tamaño NPT pulg	Referencia Básica	Dimensiones				
			A	D	E	F, pulg	H
Dimensiones, pulg							
1/8	1/8	-200-3TTF	1,94	0,50	0,09	1/2	0,75
1/4	1/8	-400-3TTF	2,12	0,60	0,19	1/2	0,75
	1/4	-400-3-4TTF	2,34			11/16	0,88
3/8	1/4	-600-3TTF	2,46	0,66	0,28	11/16	0,88
	3/8	-600-3-6TTF	2,62			13/16	0,88
	1/2	-600-3-8TTF	2,84			1	1,12
1/2	1/4	-810-3-4TTF	2,84	0,90	0,41	13/16	0,88
	3/8	-810-3TTF	2,84			13/16	0,88
	1/2	-810-3-8TTF	3,06			1	1,12
5/8	1/2	-1010-3TTF	3,06	0,96	0,50	1	1,12
3/4	3/4	-1210-3TTF	3,52	0,96	0,62	1 3/8	1,25
1	3/4	-1610-3-12TTF	3,86	1,23	0,88	1 3/8	1,25
	1	-1610-3TTF	4,22			1 11/16	1,50

Tee Hembra roscada NPT de 1/4"

Fuente: Catalogo de racores swagelok



### Adaptador de tubo roscado NPT de Ø:1/4" para tubería de Ø:3/8"



25 mm/1 pulg y menores

Ø Ext. Tubo	Tamaño NPT pulg	Referencia Básica	Dimensiones		
			A	E <sup>(1)</sup>	F
Dimensiones, pulg					
1/8	1/8	-2-TA-1-2	1,16	0,08	7/16
	1/4	-2-TA-1-4	1,37		9/16
3/16	1/8	-3-TA-1-2	1,19	0,12	7/16
	1/4	-3-TA-1-4	1,40		9/16
1/4	1/8	-4-TA-1-2	1,25	0,17	7/16
	1/4	-4-TA-1-4	1,46		9/16
	3/8	-4-TA-1-6	1,49		11/16
	1/2	-4-TA-1-8	1,71		7/8
5/16	1/8	-5-TA-1-2	1,29	0,19	7/16
	1/4	-5-TA-1-4	1,50		9/16
3/8	1/8	-6-TA-1-2	1,32	0,27	7/16
	1/4	-6-TA-1-4	1,53		9/16
	3/8	-6-TA-1-6	1,56		11/16
	1/2	-6-TA-1-8	1,78		7/8
1/2	1/4	-8-TA-1-4	1,75	0,37	9/16
	3/8	-8-TA-1-6	1,78		11/16
	1/2	-8-TA-1-8	2,00		7/8
5/8	1/2	-10-TA-1-8	2,06	0,47	7/8
	3/4	-12-TA-1-8	2,06		7/8
3/4	3/4	-12-TA-1-12	2,06	0,58	1 1/16
	1	-16-TA-1-12	2,31	0,62	1 1/16
1	3/4	-16-TA-1-16	2,60	0,80	1 3/8
	1 1/4	-20-TA-1-20 <sup>(2)</sup>	3,16	1,02	1 3/4
1 1/2	1 1/2	-24-TA-1-24 <sup>(2)</sup>	3,72	1,25	2 1/8
2	2	-32-TA-1-32 <sup>(2)</sup>	4,70	1,72	2 3/4

Adaptador de tubo roscado NPT de Ø:1/4"

Fuente: Fuente: Catalogo de racores swagelok

Sobre la TEE hembra se enroscará sobre el adaptador de tubo NPT de Ø:1/4", y sobre el adaptador roscado se colocará la manguera flexible que va hacia la bomba de vacío. Para ajustar la manguera esta se realizará mediante una abrazadera metálica. (Ver anexo B-5)

## A-6 INSTALACIÓN DE VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN

### Válvula reguladora de presión

#### Regulador de diafragma para servicio general (Serie KPR)

La serie KPR es un regulador compacto de excelente precisión, sensibilidad y estabilidad de la presión de consigna.

##### Características

- Diafragma corrugado, no perforado
- Cierre del diafragma metal - metal
- Bajo volumen interno
- Diseño de tapa de dos piezas que asegura una carga axial sobre el cierre del diafragma
- Filtro de doble malla de alto caudal en los puertos de entrada

##### Información técnica

###### Máxima presión de entrada

- 248 bar (3600 psig)
- 413 bar (6000 psig) con asiento de PEEK

###### Rangos de control de presión

- Desde 0 a 0,68 bar (10 psig) hasta 0 a 34,4 bar (500 psig)

###### Coefficiente de caudal ( $C_v$ )

- 0,06 y 0,20  
Consulte los gráficos en la página 41.
- También disponibles 0,02 y 0,50

##### Variación en la presión de entrada (SPE)

Coeficiente de caudal ( $C_v$ )	Rango de control de presión	
	Hasta 6,8 bar (100 psig)	17,2 bar (250 psig) y superior
	Variación en la presión de entrada, %	
0,02	0,3	0,5
0,06	1,0	1,5
0,20	1,7	2,5
0,50	2,3	3,3

##### Máxima temperatura de servicio

- 80°C (176°F) con asiento de PCTFE
- 200°C (392°F) con asiento de PEEK
- 100°C (212°F) con asiento de PEEK y presión de entrada mayor que 248 bar (3600 psig)

##### Peso

- 1,1 Kg (2,4 lb)



##### Puertas

- 1/4 pulg NPT hembra en la entrada, salida y conexiones de manómetros (para cuerpos de todos los materiales)
- 1/4 pulg. soldadura de tubo a tope en la entrada, salida y puertas para manómetros (sólo para cuerpos de acero inoxidable 316)
- 1/4 pulg VCR® en la entrada, salida y conexiones de manómetros (cuerpos de acero inoxidable 316 únicamente)

Fuente: Catalogo de reguladores de presión serie K

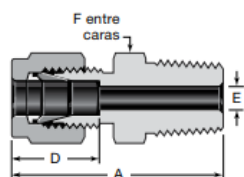
La conexión de la válvula reductora consta con una entrada hembra roscada NPT de  $\varnothing:1/4"$

### Conectores machos roscados

#### Conector macho roscado

##### Rosca NPT

#### Conectores macho



Ø Ext. Tubo	Tamaño NPT pulg	Referencia Básica	Dimensiones		
			A	E <sup>①</sup>	F
Dimensiones, pulg					
1/8	1/8	-2-TA-1-2	1,16	0,08	7/16
	1/4	-2-TA-1-4	1,37		9/16
3/16	1/8	-3-TA-1-2	1,19	0,12	7/16
	1/4	-3-TA-1-4	1,40		9/16
1/4	1/8	-4-TA-1-2	1,25	0,17	7/16
	1/4	-4-TA-1-4	1,46		9/16
	3/8	-4-TA-1-6	1,49		11/16
	1/2	-4-TA-1-8	1,71		7/8
5/16	1/8	-5-TA-1-2	1,29	0,19	7/16
	1/4	-5-TA-1-4	1,50		9/16
3/8	1/8	-6-TA-1-2	1,32	0,27	7/16
	1/4	-6-TA-1-4	1,53		9/16
	3/8	-6-TA-1-6	1,56		11/16
	1/2	-6-TA-1-8	1,78		7/8

Fuente: Catalogo de racores swagelok

-Para realizar la conexión de la válvula reductora de presión esta se realizará mediante 02 conectores machos con rosca NPT de  $\varnothing: 1/4"$ , para una tubería de  $\varnothing:1/4"$ .

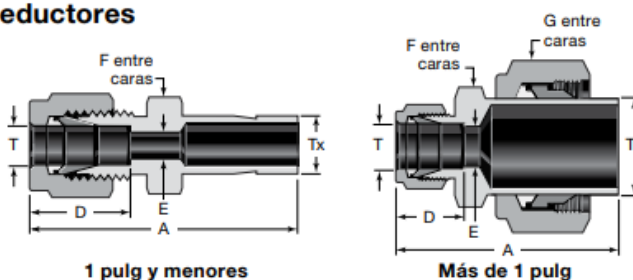
## A-7 ACCESORIOS PARA LA INSTALACIÓN DEL FLUJOMETRO MAGNÉTICO-INDUCTIVO

*Conector con racor para tubería de  $\varnothing: \frac{1}{2}$ "*

Racor recto de  $\varnothing: \frac{1}{2}$ "

### Racores rectos

#### Reductores



#### Reductor (Fraccional)

Ø Ext. Tubo		Referencia Básica	Dimensiones								
T	Tx		A	D	E	F	G				
Dimensiones, pulg											
1/16	1/8 1/4	-100-R-2 -100-R-4	1,15 1,24	0,34	0,05	5/16	—				
1/8	1/16	-200-R-1	1,14	0,50	0,03	7/16	—				
	1/8	-200-R-2	1,32		0,08	7/16					
	3/16	-200-R-3	1,35		0,09	7/16					
	1/4	-200-R-4	1,42		0,09	7/16					
	3/8	-200-R-6	1,48		0,09	7/16					
3/16	1/2	-200-R-8	1,74		0,09	9/16					
	1/8 1/4	-300-R-2 -300-R-4	1,37 1,46	0,54	0,08 0,12	7/16	—				
1/4	1/8 3/16 1/4 5/16 3/8 1/2 5/8 3/4	-400-R-2 -400-R-3 -400-R-4 -400-R-5 -400-R-6 -400-R-8 -400-R-10 -400-R-12	1,45 1,48 1,54 1,57 1,60 1,82 1,89 1,88	0,60	0,08 0,12 0,17 0,19 0,19 0,19 0,19 0,19	1/2 1/2 1/2 1/2 1/2 9/16 11/16 13/16	—				
	5/16	3/8 1/2	-500-R-6 -500-R-8		1,65 1,87	0,64		0,25	9/16	—	
	3/8	1/4 3/8 1/2 5/8 3/4	-600-R-4 -600-R-6 -600-R-8 -600-R-10 -600-R-12		1,63 1,70 1,91 1,98 1,98	0,66		0,17 0,27 0,28 0,28 0,28	5/8 5/8 5/8 11/16 13/16	—	
		1/4	-810-R-4		1,77			0,17	13/16		

Fuente: Catalogo de racores swagelok

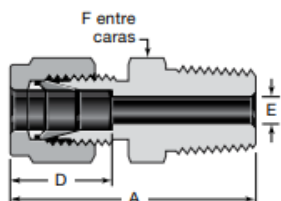
-La instalación del flujometro inductivo, al sistema se realizará mediante “Racores rectos de  $\varnothing: \frac{1}{2}$  para tubería de  $\varnothing: \frac{3}{8}$ ” (Ver anexo B-4)



## A-8 INSTALACIÓN DE INTERCAMBIADORES DE CALOR COAXIAL

Conector macho roscado NPT de  $\varnothing:1/2''$

Conectores macho

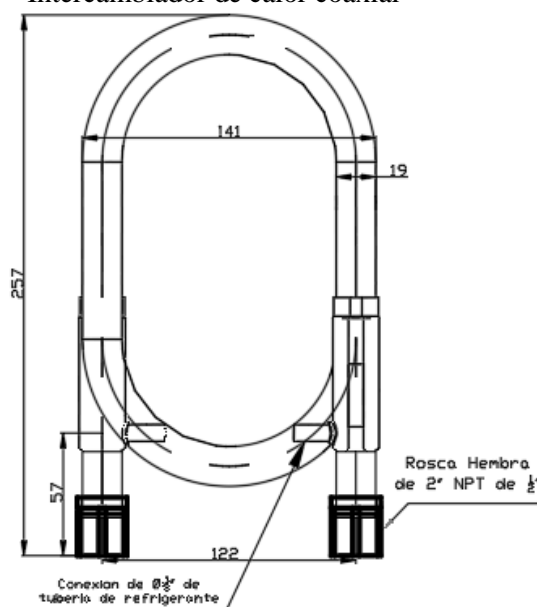


Ø Ext. Tubo	Tamaño NPT pulg	Referencia Básica	Dimensiones		
			A	E <sup>(1)</sup>	F
Dimensiones, pulg					
1/8	1/8 1/4	-2-TA-1-2 -2-TA-1-4	1,16 1,37	0,08	7/16 9/16
3/16	1/8 1/4	-3-TA-1-2 -3-TA-1-4	1,19 1,40	0,12	7/16 9/16
1/4	1/8	-4-TA-1-2	1,25	0,17	7/16
	1/4	-4-TA-1-4	1,46		9/16
	3/8	-4-TA-1-6	1,49		11/16
	1/2	-4-TA-1-8	1,71		7/8
5/16	1/8 1/4	-5-TA-1-2 -5-TA-1-4	1,29 1,50	0,19 0,22	7/16 9/16
	3/8	1/8	-6-TA-1-2	1,32	0,19
1/4		-6-TA-1-4	1,53	0,27	9/16
3/8		-6-TA-1-6	1,56	0,27	11/16
1/2		-6-TA-1-8	1,78	0,27	7/8
1/2	1/4	-8-TA-1-4	1,75	0,28	9/16
	3/8	-8-TA-1-6	1,78	0,37	11/16
	1/2	-8-TA-1-8	2,00	0,37	7/8
5/8	1/2	-10-TA-1-8	2,06	0,47	7/8
3/4	1/2	-12-TA-1-8	2,06	0,47	7/8
	3/4	-12-TA-1-12		0,58	1 1/16
1	3/4	-16-TA-1-12	2,31	0,62	1 1/16
	1	-16-TA-1-16	2,60	0,80	1 3/8
1 1/4	1 1/4	-20-TA-1-20 <sup>(2)</sup>	3,16	1,02	1 3/4
1 1/2	1 1/2	-24-TA-1-24 <sup>(2)</sup>	3,72	1,25	2 1/8
2	2	-32-TA-1-32 <sup>(2)</sup>	4,70	1,72	2 3/4

Fuente: Elaboración propia

-Para la conexión de los intercambiadores de calor, se realizará mediante conectores machos con rosca NPT de  $\varnothing: 1/2''$  con una conexión para tubería de  $\varnothing:3/8''$

Intercambiador de calor coaxial



Fuente: HANGZHOU SHENSHI ENERGY CONSERVATION TECHNOLOGY CO. LTD

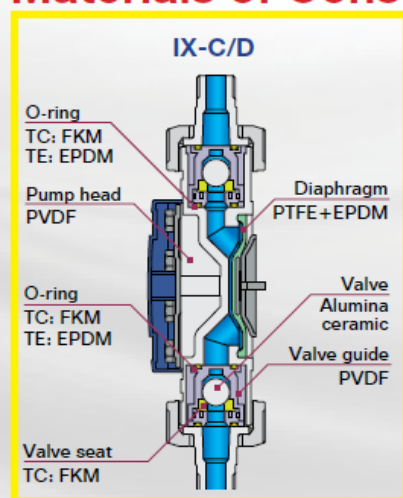
## ANEXO B FICHAS TÉCNICAS DE EQUIPOS

### B-1 BOMBA DOSIFICADORA

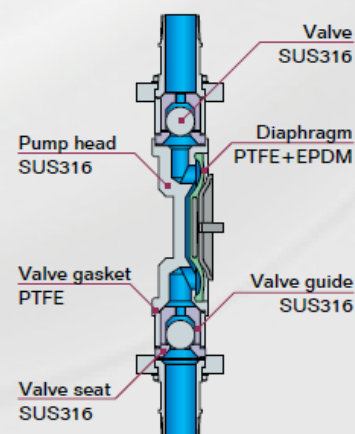
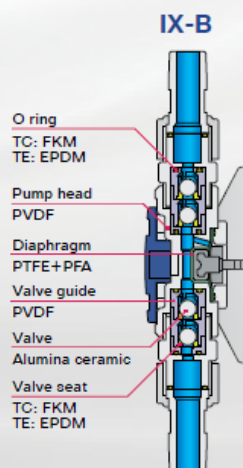
#### Specifications

Model	Capacity Range GPH (LPH)	Max Pressure PSI (Mpa)	Average power consumption	Current Amps	Connection Size	Weight lbs (Kg)
IX-B007 (TC,TE)	0.002-1.98 (0.0075 - 7.5)	247* (1.7)	17W	0.4A	1/2NPT	7.75 (3.5)
		145* (1.0)			Tube	7.75 (3.5)
		Flange			8.25 (3.7)	
IX-B015 (TC,TE)	0.004 - 3.96 (0.015 - 15)	145 (1.0)	17W	0.4A	1/2NPT	7.75 (3.5)
					Tube	7.75 (3.5)
					Flange	8.25 (3.7)
IX-B030 (TC,TE)	0.008 - 7.93 (0.03 - 30)	87* (0.6)	19W	0.5A	1/2NPT	8.25 (3.7)
					Tube	8.25 (3.7)
					Flange	8.60 (3.9)
IX-B045 (TC,TE)	0.012 - 11.89 (0.045 - 45)	58* (0.4)	19W	0.5A	1/2NPT	8.25 (3.7)
					Tube	8.25 (3.7)
					Flange	8.60 (3.9)
IX-C060TC / TE	0.02 - 15.8 (0.08 - 60)	145 (1.0)	62W	0.8 A	1/2" NPT	23 (10.5)
IX-C060S6					1/2" flange	29 (13.2)
IX-C150TC / TE	0.05 - 39.6 (0.2 - 150)	58 (0.4)			3/4" NPT	23 (10.5)
IX-C150S6					3/4" flange	31 (14.1)
IX-D150TC / TE	0.05 - 39.6 (0.2 - 150)	145 (1.0)	110W	1.3A	3/4" NPT	31.9 (14.5)
IX-D150S6					3/4" flange	33.0 (15.0)
IX-D300TC / TE	0.1 - 79.2 (0.4 - 300)	73 (0.5)			1" NPT	34.1 (15.5)
IX-D300S6					1" flange	37.4 (17.0)

#### Materials of Construction



TC, TE Materials



S6 Materials

IX - C150 TC N - TB - U  
1 2 3 4 5

# 1 DRIVE UNIT/PUMP SIZE

## 2 PUMP SIZE

B007: 1.98 GPH (7.5 LPH)  
B015: 3.96 GPH (15 LPH)  
B030: 7.90 GPH (30 LPH)  
B045: 11.80 GPH (45 LPH)  
C060: 15.8 GPH (60 LPH)  
C150: 39.6 GPH (150 LPH)  
D150: 39.6 GPH (150 LPH)  
D300: 79.2 GPH (300 LPH)

## 3 WET END MATERIALS

TC = PVDF/FKM/CE  
TE = PVDF/EPDM/CE  
S6 = 316SS/PTFE C & D ONLY

## 4 CONNECTIONS

T = Tubing Connection<sup>EX ONLY</sup>  
N = NPTM  
FA = Flange (ANSI 150 lb)

## 5 CONTROLLER LOCATION

IX-C/D Only; Leave Blank for IX-B  
TB = Top Back  
TF = Top Front  
TR = Top Right  
TL = Top Left  
RF = Right Face\*  
LF = Left Face\*  
\* No display cover on IX-C

## 6 POWER CORD

U = USA (115V)  
2 = USA (230V)  
E = Europe (220V DIN)

## Controller Specifications

Operation mode	MAN (Manual)		Use the UP (↑) and DOWN (↓) keys to adjust a flow rate.
	EXT	ANALOG fixed control	4-20mA, 0-20mA, 20-4mA, 20-0mA (Proportional to the flow rate)
		ANALOG variable control	2-setpoint programmable (0-20mA, proportional to flow rate)
	EXT	Pulse control <sup>Noted</sup>	IX-B007: 0.000625mL/PLS - 15.0mL/PLS IX-B015: 0.001250mL/PLS - 30.0mL/PLS IX-B030: 0.002500mL/PLS - 60.0mL/PLS IX-B045: 0.003750mL/PLS - 90.0mL/PLS IX-C060: 0.00625mL/PLS - 120mL/PLS IX-C150: 0.0156mL/PLS - 300mL/PLS IX-D150: 0.0156mL/PLS - 300mL/PLS IX-D300: 0.0312mL/PLS - 600mL/PLS
		Batch control <sup>Noted</sup>	IX-B007: 0.625mL/PLS - 15.0L/PLS IX-B015: 1.250mL/PLS - 30.0L/PLS IX-B030: 2.500mL/PLS - 60.0L/PLS IX-B045: 3.750mL/PLS - 90.0L/PLS IX-C060: 0.00625mL/PLS - 120mL/PLS IX-C150: 0.0156mL/PLS - 300mL/PLS IX-D150: 0.0156mL/PLS - 300mL/PLS IX-D300: 31.2mL/PLS - 600mL/PLS
	Interval batch control <sup>Noted</sup>		Day: 0 - 9, Hour: 0 - 23, Minute: 1 - 59 Same flow ranges as Batch control.
Monitors	Profibus control <sup>Noted</sup>		Communication protocol: Profibus-DP-compliant International standard: EN50170 (IEC61158)
	LCD		16 digits x 2 lines, backlit character LCD
Operation	LED		WHITE: Pump stopped/waiting. ORANGE: Running, Pre-Stop condition. GREEN: Pump operating. RED: Alarm condition/stopped.
	Keypad		(⏏)Start/Stop, MENU, ESC, (↵)Enter, (↑)Up, (↓)Down, (←)Left and (→)Right keys
Control function	STOP		Operation stops/starts with input contact <sup>Noted</sup>
	PRIME		Forces max. speed operation by pressing the (↓)UP and (↓)DOWN keys
	Keylock		Locks/unlocks keypad operation with PIN code
	Interlock		Operation stops/starts with input contact <sup>Noted</sup>
	AUX		Pump operates at programmed flow rate with input contact
	Maximum discharge rate		Adjusts maximum flow rate limit of pump (all operation modes)
Input	Buffer memory		Enables memory or ignoring of incoming pulses during operation in Batch mode
	Analog input display		Displays the actual analog input value
	STOP/Pre-Stop/AUX/Interlock		No-voltage contact or open collector <sup>Noted</sup>
	Analog		0-20mA DC (Internal resistance is 200Ω)
	Pulse		No-voltage contact or open collector. Max pulse frequency: 100Hz (Pulse ON: 5ms+)
	Alarm1 (OUT1)		No-voltage contact (mechanical relay): 250VAC 2A (Resistive load) Possible output conditions can be Enabled/Disabled: STOP / Pre-Stop / Interlock / Leak Detection / Motor Overload <sup>Noted</sup> / Batch Complete <sup>Noted</sup> / Drive Error Factory preset: Leak Detection is Enabled for OUT1
Output	Alarm2 (OUT2)		No-voltage contact (PhotoMOS relay): AC/DC 24V 0.1A (Resistive load) Possible output conditions can be Enabled/Disabled: STOP / Pre-Stop / Interlock / Leak Detection / Motor Overload <sup>Noted</sup> / Batch Complete <sup>Noted</sup> / Drive Error / Volume Prob. PLS <sup>Noted</sup> Factory preset: Interlock is Enabled for OUT2
	Power supply		12VDC 30mA maximum
	Current		DC 0-20mA, 2 programmable setpoints (Max. resistance load: 300Ω)
	Power voltage <sup>Noted</sup>		100-240VAC 10% 50/60Hz

\*CODIGO DE EQUIPO IX-C060 TCT-TB-E



## B-2 EQUIPO DE CALENTAMIENTO INDUCTIVO

JL-15KW Induction Heating Machine



### 2. Technical Parameters

Model	JL-15
Input power desire	Single phase 220V 50/60HZ
Oscillate power max	15KW
Max input current	37A
Max input real power	7KW
Oscillate frequency	30-100KHZ
Cooling water desire	$\geq 0.2\text{MPa}$ 2-6L/Min $\leq 40^{\circ}\text{C}$
Duty cycle	80%
Dimensions(L*W*H)	500*210*460mm
Net weight	22kg
Cable length	2-6(Meters)

### 3. List Of Accessories In The Package

Item	Name of machine or parts	Specification	Amount
1	JL-15KW Generator	-	1 pc
2	Foot pedal	3 core	1 pc
3	Induction Coils	-	2 sets
4	Instruction Manual	-	1 pc
5	Product catalogs	-	2 sets

### 5. Machine Photos For Reference



### 6. Front Panel



### B-3 HORNO CALENTADOR

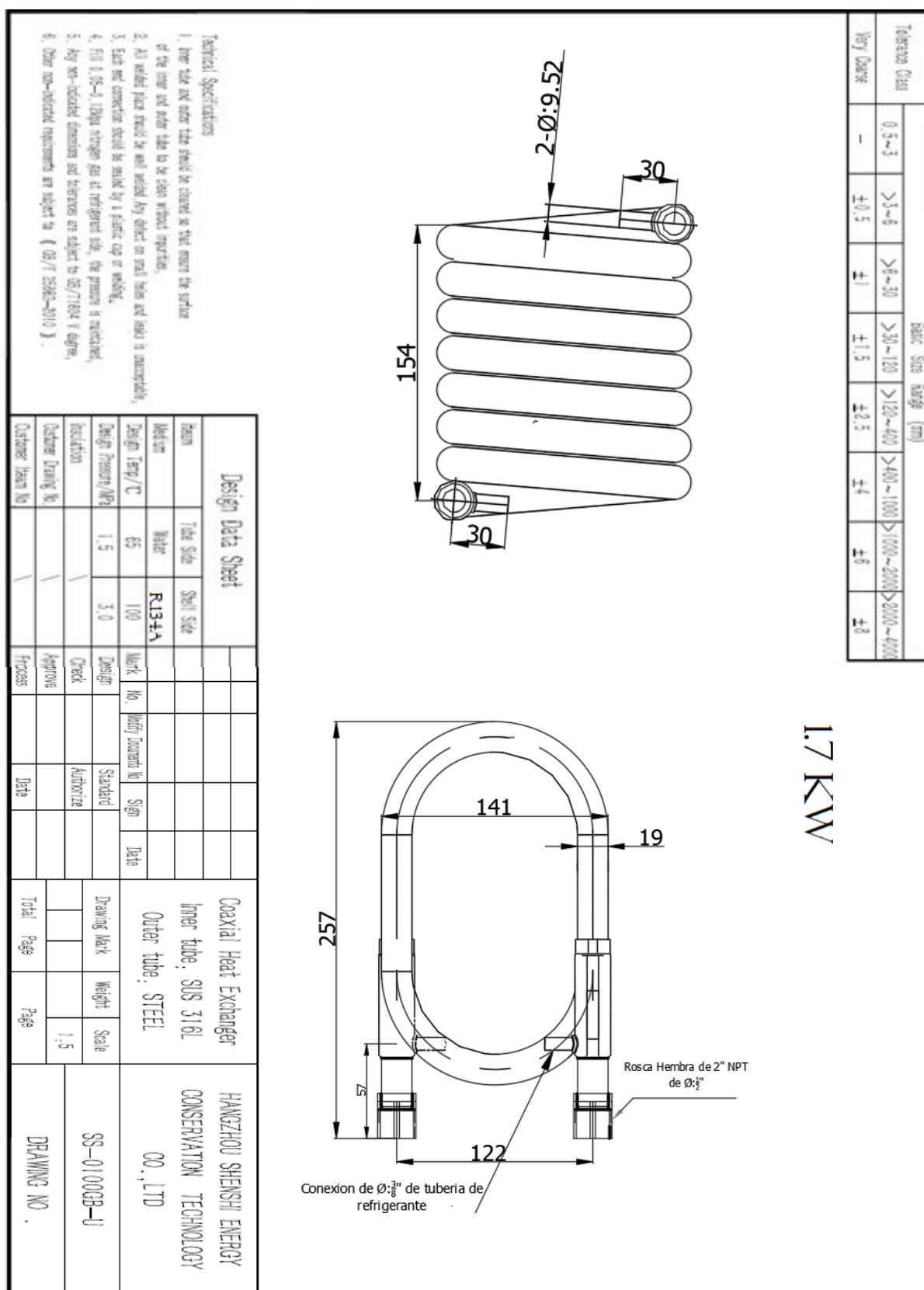
## YG-120610 Tube Furnace



### Especificaciones Técnicas

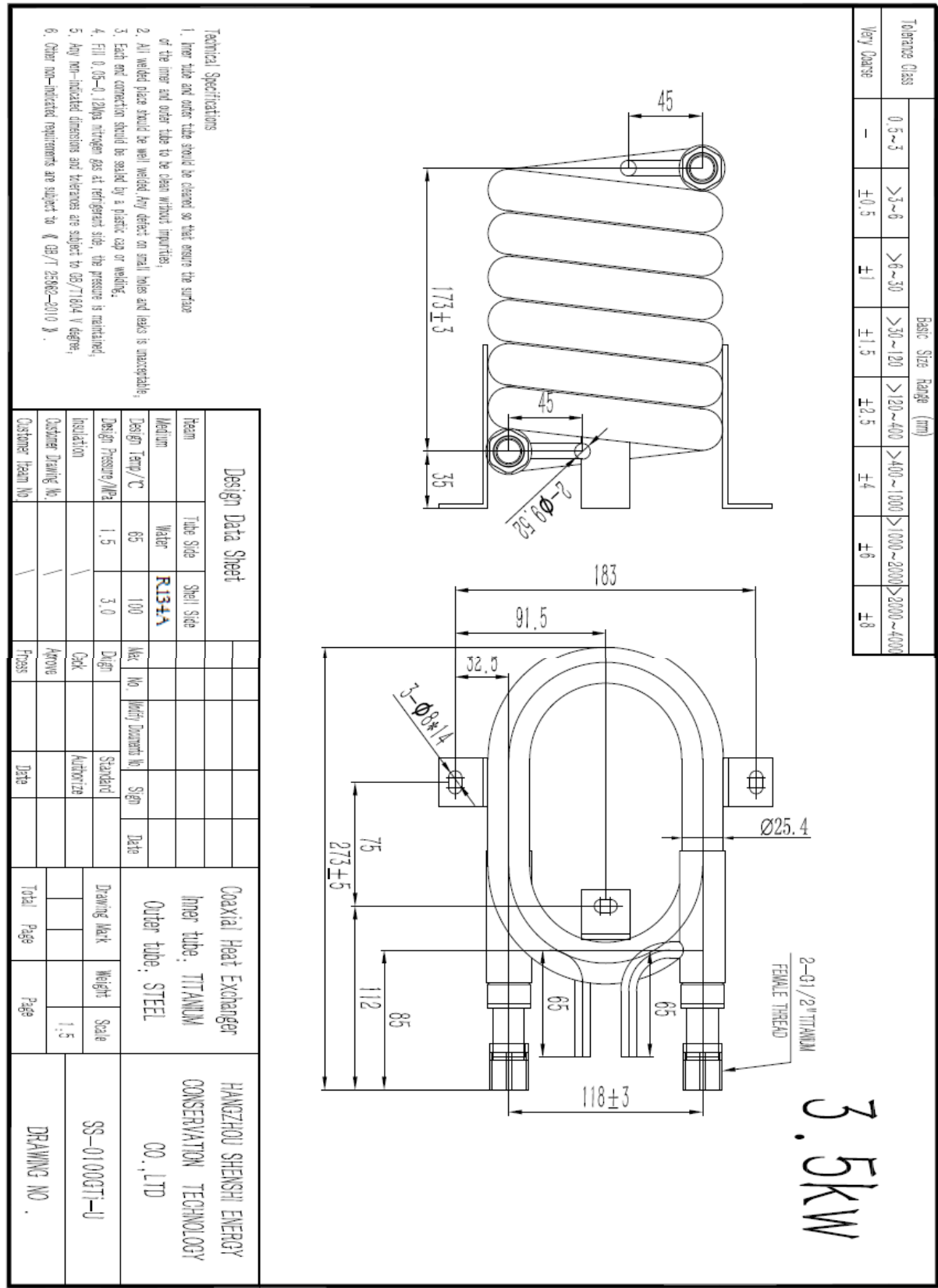
Model	YG-120610
Voltage	AC220V 1-phase 50/60HZ
Power	3.5KW
Temp	Max 1200°C, continuous work temp = < 1150°C
Temp controller	Digital PID controller with self-tune function 30-segment programmable, accuracy +/- 1°C
Heating rate	Suggestion = < 10°C /min, max 30°C /min
Cooling rate	Max 10°C/min of over 700°C
Heat element	Resistance wire
Temp sensor	Type N
Tube	Quartz tube, Outer dia 60/80/100 x Length 1000mm
Heated length	Single for 420mm, constant temp length 200mm
Flange	Stainless steel squeezed sealing flange

**B-4 INTERCAMBIADOR DE CALOR COAXIAL DE 1.7 KW**





**B-5 INTERCAMBIADOR DE CALOR COAXIAL DE 3.5 KW**



## B-6 BOMBA DE VACÍO

Bombas



### Bombas de vacío/presión de alta capacidad

#### No más sobrecargas

- El motor enfriado por ventilador y con polos blindados, incluye un interruptor contra sobrecargas térmicas, para proteger el sistema de bombeo
- Los cabezales en las bombas 07061-60 y -05 se conectan en paralelo para obtener una mayor capacidad. Los cabezales en las bombas 07061-11 y -13 se conectan en serie para obtener un mayor vacío
- Seleccione bombas con o sin indicadores, reguladores y válvulas
- Capacidades al aire libre de hasta 2.2 cfm (62.3 l/min)



07061-40

ISO 9001:2008  
PROVEEDOR CERTIFICADO


Elementos incluidos: cable de tres hilos de 70.87" (1.8 m) (enchufe estándar para EE. UU. en modelos de 115 VCA). Los modelos 07061-11 y -13 incluyen un filtro/silenciador.

Configuración del cabezal de la bomba	Capacidad al aire libre cfm (l/min)	Vacío máx.	Presión máx.	Piezas humectadas	hp del motor	Tamaño del puerto	Clasificación de ruido	Potencia (VCA, Hz)	Número de catálogo	Precio
<b>Bomba sin indicadores ni reguladores</b> (solicite los reguladores por separado a continuación; pida indicadores con conexiones 1/4" [0.64 cm] NPT(M) en línea)										
Sencillo	1.1 (31.2) 1.0 (28.3)	25.5" Hg (0.88 kg/cm²) 24.0" Hg (0.82 kg/cm²)	60 psi (4.14 bares)	Aluminio, acero inoxidable, Nordel® y Nomex®	1/6	1/4" (0.64 cm) NPT(F), espiga para manguera de 3/8" (0.95 cm) en los indicadores	68 dB(A)	115, 60 220/240, 50	<a href="#">YV-07061-21</a> <a href="#">YV-07061-22</a>	
<b>Bombas con indicadores, reguladores y válvula de alivio ajustable</b>										
Sencillo	1.1 (31.2) 1.0 (28.3)	25.5" Hg (0.88 kg/cm²) 24.0" Hg (0.82 kg/cm²)	60 psi (4.14 bares)	Aluminio, acero inoxidable, Nordel y Nomex	1/6	1/4" (0.64 cm) NPT(F), espiga para manguera de 3/8" (0.95 cm) en los indicadores	68 dB(A)	115, 60 220/240, 50	<a href="#">YV-07061-40</a> <a href="#">YV-07061-42</a>	
Doble/en paralelo	2.2 (62.3) 1.8 (51.0)	25.5" Hg (0.88 kg/cm²) 24.0" Hg (0.82 kg/cm²)	60 psi (4.14 bares)		1/4			115, 60 220, 50	<a href="#">YV-07061-60</a> <a href="#">YV-07061-05</a>	
<b>Bomba solo con medidor de vacío</b>										
Doble/en serie	1.15 (32.5) 0.85 (24.0)	29.0" Hg (1 kg/cm²) 28.0" Hg (0.96 kg/cm²)	—	Aluminio, acero inoxidable, Nordel y Nomex	1/4	1/4" (0.64 cm) NPT(F), espiga para manguera de 3/8" (0.95 cm) en los indicadores	68 dB(A)	115, 60 220, 50	<a href="#">YV-07061-11</a> <a href="#">YV-07061-13</a>	

[YV-07061-32](#) Conjunto de regulador de presión para las bombas 07061-21 y -22

[YV-07061-30](#) Conjunto de regulador de vacío para las bombas 07061-21 y -22

[YV-07061-01](#) Kit para mantenimiento para todas las bombas

[YV-07061-03](#) Kit para mantenimiento para bombas de cabezal doble. Las bombas 07061-60, -05, -11 y -13 también requieren el kit para mantenimiento 07061-01 a la izquierda.

[YV-07061-06](#) Diafragma para todos los modelos, neopreno/nylon

[YV-07061-04](#) Diafragma de reemplazo para todos los modelos, Nordel/Nomex

### Especificaciones y Descripción

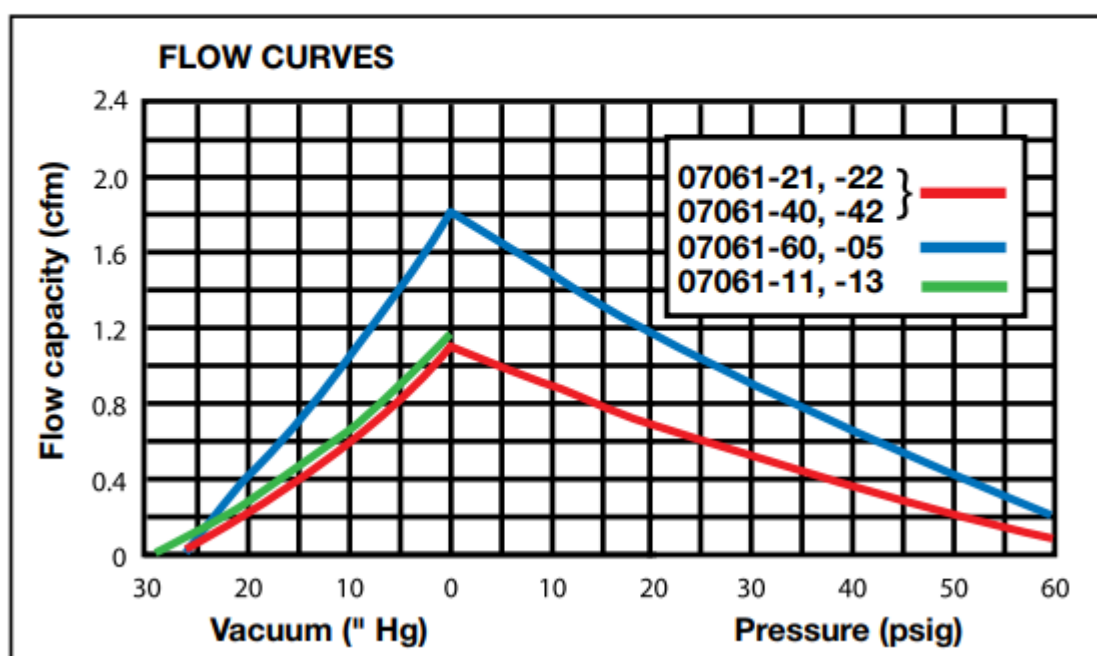
Partes mojadas de	acero inoxidable 304, aluminio, Nordel®, Nomex®
Capacidad de aire libre (CFM)	1
Capacidad de aire libre (LPM)	28.3
Velocidad de flujo máxima (CFM)	0.99
Velocidad de flujo máxima (litros / min)	28.3
Presión máxima (PSI)	60
Presión máxima (bar)	4.14
Vacío Máximo (en Hg)	24
Vacío Máx. (Mbar)	200.7
Vacío Máx. (Mm Hg)	150.4
Nivel de ruido (dB)	68
Tamaño de Salida	1/4 "NPT (F), 3/8" manguera de manguera en los manómetros
Temperatura máxima (° F)	100
Temperatura máxima (° C)	38
Ciclo de trabajo	continuo
Potencia (VAC)	220
Potencia (amperios)	2.2 / 1.9
Potencia (Hz)	50

tipo motor	Condensador dividido permanente
Etapas	1
Altura (cm)	26.04
Longitud (cm)	19.37
Motor	1/8 HP
Descripción	Bomba de vacío de gran capacidad, indicador / registro; 1.0 cfm / 24 "Hg-60psi / 220V

\*La curva de la bomba de vacío corresponde a la línea Azul, ya que el equipo tiene la serie

YV 07061-42

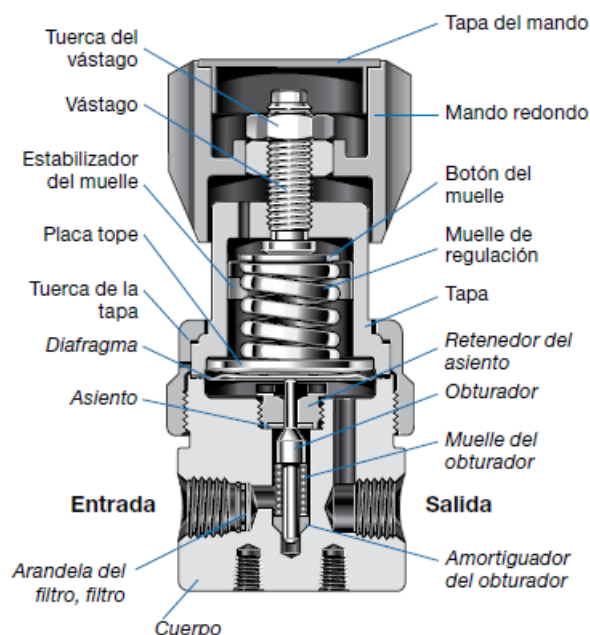
## Flow Curves for High-Capacity Vacuum/Pressure Pumps





## B-7 VÁLVULA REGULADORA DE PRESIÓN

### Materiales de construcción



	Acero inox. 316	Latón CW721R	Aleación 400	Aleación C-276
Componente	Material			
Mando redondo, Tapa del mando	Nilón con inserto de acero inoxidable 316			
Botón del muelle	Acero al carbono recubierto de zinc			
Estabilizador del muelle <sup>①</sup>	Acero inoxidable 301			
Muelle de regulación	Acero inoxidable 316 o acero al carbono recubierto de zinc, según la configuración			
Vástago, Tuerca del vástago, Tuerca de la tapa, Placa tope, Tapa, Tuercas de panel <sup>②</sup>	Acero inoxidable 316			
Tuercas VCR <sup>②</sup>	Acero inox. 316	—		
Lubricante no húmedo	Con base de hidrocarburo			
Retenedor del asiento	Acero inoxidable 316	Aleación 400	Aleación C-276	
Asiento	PCTFE o PEEK			
Filtro	Acero inoxidable 316	Aleación C-22		
Diafragma <sup>③</sup>	Aleación X-750 o aleación C-276			
Obturador	Acero inoxidable S17400	Aleación 400	Aleación C-276	
Muelle del obturador	Aleación X-750			Aleación C-276
Amortiguador del obturador, arandela del filtro	PTFE			
Junta conexión auto-venteo <sup>②</sup>	FKM Fluorocarbono		—	
Cuerpo	Acero inox. 316	Latón CW721R	Aleación 400	Aleación C-276
Puertas para soldar tubo a tope, <sup>②</sup> puertas con manguitos VCR <sup>②</sup>	Acero inox. 316L	—		
Lubricante húmedo	Con base de PTFE			

Los componentes húmedos se muestran en cursiva.

① No es necesario para todas las configuraciones.

② No se muestra.

La marca de la de la válvula reguladora de presión es SWAGELOK, la empresa representante en el Perú, es Rimac Perú

CODIGO TECNICO DE LA VALVULA

ITEM	CARACTERISTICA	OPCION
1	MATERIAL DEL CUERPO	1
2	RANGO DE CONTROL DE PRESION	G
3	MAXIMA PRESION DE ENTRADA	J
4	PUERTAS	Y
5	MATERIAL DE ASIENTO	1
6	COEFICIENTE DE CAUDAL	1
7	MECANISMO SENSOR, VENTEO	C
8	MANDO MONTAJE	2
9	VALVULAS DE AISLAMIENTO Y ALIVIO	0
10	CONEXIONES DE BOTELLA	0
11	MANOMETROS	0
12	OPCIONES	0

CODIGO: KPR 1GJY11C20000

**4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16**  
**KPR 1 F R F 4 1 2 A 2 0 0 0 0**

**4 Material del cuerpo**

1 = Acero inoxidable 316

2 = Latón CW721R

4 = Aleación 400

5 = Aleación C-276

A = Acero inoxidable 316, limpiado según ASTM G93 Nivel E

B = Latón limpiado según ASTM G93, Nivel E

C = Acero inoxidable 316, limpiado según SC-11

D = Latón limpiado según SC-11

**5 Rango de control de presión**

C = 0 a 0,68 bar (0 a 10 psig)<sup>①</sup>

D = 0 a 1,7 bar (0 a 25 psig)<sup>①</sup>

E = 0 a 3,4 bar (0 a 50 psig)

F = 0 a 6,8 bar (0 a 100 psig)

G = 0 a 17,2 bar (0 a 250 psig)

J = 0 a 34,4 bar (0 a 500 psig)

<sup>①</sup> Para presiones de entrada máximas de 300 bar (4351 psig) o 413 bar (6000 psig) seleccione coeficientes de caudal 0,02 ó 0,06.

**6 Máxima presión de entrada<sup>①②</sup>**

F = 6,8 bar (100 psig)

J = 34,4 bar (500 psig)

L = 68,9 bar (1000 psig)

P = 206 bar (3000 psig)

R = 248 bar (3600 psig)

T = 300 bar (4351 psig)<sup>③</sup>

W = 413 bar (6000 psig)<sup>④</sup>

<sup>①</sup> Para el mejor rendimiento y control, seleccione la presión más cercana a la presión del sistema.

<sup>②</sup> Las conexiones de las botellas y los accesorios de las mangueras pueden limitar los rangos; vea las páginas 53 y 56.

<sup>③</sup> Sólo está disponible para cuerpos de acero inoxidable 316 y asientos de PEEK. No disponible con limpieza SC-11.

<sup>④</sup> No disponible para reguladores con válvulas de aislamiento montadas.

**7 Configuración de puertas**

A, B, C, E, F, H, K, L, M, N

Consulte **Configuraciones de puertas**, en la página 52.

**8 Puertas**

4 = 1/4 pulg NPT hembra

T = 1/4 pulg. × 0,035 pulg. soldadura de tubo a tope<sup>①</sup>

V = 1/4 pulg manguito VCR, sin tuercas<sup>①②</sup>

X = 1/4 pulg racor VCR hembra giratorio<sup>①</sup>

Y = 1/4 pulg racor VCR macho giratorio<sup>①</sup>

<sup>①</sup> Disponible únicamente con cuerpo de acero inoxidable 316, en las configuraciones de puertas A y F; no contiene filtro. No disponible para presiones de entrada mayores que 248 bar (3600 psig). No está disponible con limpieza según ASTM G93 Nivel E.

<sup>②</sup> Para utilizar con tuercas partidas VCR, que se pueden pedir por separado. Consulte el catálogo Swagelok Accesorios de cierre frontal con junta plana metálica VCR, en la página D-114.

**9 Material del asiento**

1 = PCTFE

2 = PEEK

**10 Coeficiente de caudal (C<sub>v</sub>)**

1 = 0,02

5 = 0,20

2 = 0,06

7 = 0,50

**11 Mecanismo sensor, Venteo**

A = Diafragma de aleación X-750, sin venteo

C = Diafragma de aleación X-750, auto venteo<sup>①</sup>

E = Diafragma de aleación X-750, venteo conducido sin auto venteo

F = Diafragma de aleación X-750, auto venteo conducido<sup>①</sup>

H = Diafragma de aleación C-276, sin venteo

<sup>①</sup> Disponible únicamente con cuerpo de acero

**12 Mando, Montaje**

2 = Redondo

3 = Tuerca antisabotaje de acero inoxidable 316

6 = Redondo, para montaje en panel

7 = Tuerca antisabotaje de acero inoxidable 316 para montaje en panel

Para opciones de colores de los mandos redondos, vea la página 56.

**13 Válvulas de Aislamiento y Alivio**

0 = Sin válvulas

Consulte la página 54 para las opciones de válvulas de aislamiento y alivio.

**14 Conexiones de botella**

0 = Sin conexiones

Para las opciones de conexión de las botellas y presión de servicio, vea la página 53.

**15 Manómetros**

0 = Sin manómetros

Para las opciones de manómetros en la entrada y en la salida, consulte la página 54.

**16 Opciones**

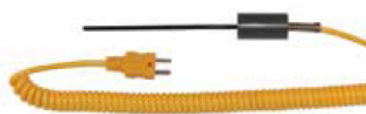
0 = Sin opciones

H = Prueba de fugas con helio en el interior, para un caudal de fuga máximo de  $1 \times 10^{-5}$  cm<sup>3</sup>/s std.<sup>①</sup>

3 = Manguera metálica serie FX de 3 pies, 1/4 pulg., entrada de 1/4 pulg. NPT hembra<sup>①</sup>

4 = Entrada con manguera de PTFE con recubrimiento de malla de acero inoxidable serie TH, de 1/4 pulg y 3 pies de longitud, 1/4 pulg NPT hembra<sup>②</sup>

## B-8 TERMOCUPLA PARA SUSTANCIAS CORROSIVAS

Sondas compactas revestidas con PFA con mango de PVC (con conexión a tierra). Para uso con sustancias químicas corrosivas y ácidos fuertes.						
J	SS 316 con revestimiento de PFA	Revestimiento: 4.5" L x 0.145" diám. Mango: 1.5" L Cable: 1.5 m cable bobinado. Miniconector	-310 a 400 (-190 a 204)	$\pm 7.9^{\circ}\text{F}$ ( $\pm 4.4^{\circ}\text{C}$ ) o $\pm 0.4\%$ de medición superior a $32^{\circ}\text{F}$ ( $0^{\circ}\text{C}$ ); $\pm 2.0\%$ de medición inferior a $32^{\circ}\text{F}$ ( $0^{\circ}\text{C}$ )	<a href="#">YV-08441-10</a>	
K			-418 a 400 (-250 a 204)		<a href="#">YV-08441-12</a>	
T			-418 a 400 (-250 a 204)	$\pm 3.6^{\circ}\text{F}$ ( $\pm 2.0^{\circ}\text{C}$ ) o $\pm 0.4\%$ de medición superior a $32^{\circ}\text{F}$ ( $0^{\circ}\text{C}$ ); $\pm 0.8\%$ de medición inferior a $32^{\circ}\text{F}$ ( $0^{\circ}\text{C}$ )	<a href="#">YV-08441-14</a>	


Especificaciones Técnicas	Descripción
Sonda Tipo	K
Temperatura mínima ( $^{\circ}\text{F}$ )	-250
Temperatura máxima ( $^{\circ}\text{F}$ )	700
Temperatura mínima ( $^{\circ}\text{C}$ )	-150
Temperatura Máxima ( $^{\circ}\text{C}$ )	311
Precisión de temperatura	$\pm 3.0^{\circ}\text{F}$ ( $1.1^{\circ}\text{C}$ ) o $\pm 0.4\%$ de lectura por encima de $212^{\circ}\text{F}$ ( $100^{\circ}\text{C}$ ); $\pm 3.6^{\circ}\text{F}$ ( $2.2^{\circ}\text{C}$ ) o $2\%$ de lectura entre $-58$ a $211^{\circ}\text{F}$ ( $-50$ a $99^{\circ}\text{C}$ ); $\pm 7.2^{\circ}\text{F}$ ( $4^{\circ}\text{C}$ ) o $\pm 4\%$ de la lectura entre $-60$ a $-238$ ( $-51$ a $-150^{\circ}\text{C}$ ), lo que sea mayor
Conexión a	Tierra
Tipo	Mini conector
Material de la funda	de acero inoxidable 316
Material del mango	PVC
Longitud de la vaina (in)	4.5
Descripción	Sonda de termopar compacta, 4.5 "L, Grnd; Tipo K

### CARACTERÍSTICAS

- Tiempo de respuesta: 2 segundos o más.
- La sonda viene con mango de PVC.
- Los mangos de la sonda cuentan con un resorte de alivio de tensión que protege la conexión del cable contra daños debidos a la flexión y tirón repetidos.
- Cada sonda viene con miniconectores ANSI codificados por color: tipo J-negro, tipo K-amarillo y tipo T-azul.



## B-9 TERMOCUPLA PARA AGUA

Tipo	Materiales de revestimiento	Dimensiones†	Rango de temperatura en °F (°C)††	Precisión	Número de catálogo	Precio	Fotografía
Sondas compactas con mango de PVC (con conexión a tierra). Use con sustancias líquidas, gaseosas y semisólidas.							
J	SS 316	Revestimiento: 4.5"L x 0.125" diám. Mango: 1.5"L Cable: 1.5 m cable bobinado. Miniconector	-310 a 700 (-190 a 311)	±7.9 °F (±4.4 °C) o ±0.4 % de medición superior a 32 °F (0 °C); ±2.0 % de medición inferior a 32 °F (0 °C)	<a href="#">YV-08439-60</a>		
K			-418 a 700 (-250 a 311)		<a href="#">YV-08439-62</a>		
T			-418 a 700 (-250 a 311)	±3.6 °F (±2.0 °C) o ±0.4 % de medición superior a 32 °F (0 °C); ±0.8 % de medición inferior a 32 °F (0 °C)	<a href="#">YV-08439-64</a>		

Especificaciones Técnicas	Descripción
Sonda Tipo	K
Temperatura mínima (° F)	-250
Temperatura máxima (° F)	700
Temperatura mínima (° C)	-150
Temperatura Máxima (° C)	311
Precisión de temperatura	± 3.0 ° F (1.1 ° C) o ± 0.4% de lectura por encima de 212 ° F (100 ° C); ± 3.6 ° F (2.2 ° C) o 2% de lectura entre -58 a 211 ° F (-50 a 99 ° C); ± 7.2 ° F (4 ° C) o ± 4% de la lectura entre -60 a -238 (-51 a -150 ° C), lo que sea mayor
Conexión a	Tierra
Tipo	Desconector Mini conector
Material de la funda	de acero inoxidable 316
Material del mango	PVC
Longitud de la vaina (in)	4.5
Descripción	Sonda de termopar compacta, 4.5 "L, Grnd; Tipo K

### CARACTERISITICAS

- Las sondas de uso general están diseñadas para su uso con líquidos, gases y semisólidos
- Tiempo de respuesta: 2 segundos o más.
- La sonda viene con mango de PVC
- Cada sonda viene con miniconectores ANSI codificados por color: tipo J-negro, tipo K-amarillo y tipo T-azul.

## B-10.- SENSOR DE PRESIÓN

### INFORMACION GENERAL

Condiciones de referencia	DIN 16086Y DIN EN 60770
Principio de medición del sensor	Sensor de silicona con diafragma separador de acero inoxidable (piezo-resistivo)
Cambios de carga admisibles	> 10 million, 0 % to 100 % measuring range
Posición de montaje	Cualquiera
Posición de Calibración	Dispositivo en posición vertical, proceso de conexión en la parte inferior.

Especificaciones Técnicas	Descripción
Modelo:	401008
Marca:	JUMO
Entrada:	0 a 40 bar presión relativa
Salida:	4 -20 mA.
conexión a proceso:	G1/4 DIN EN 837
Material de conexión a proceso:	CrNi (Acero inoxidable)
Conexión eléctrica	caja de cables DIN EN 175301-803, Forma A

### Rango de Medición y Precisión

Measuring range	Linearity <sup>a</sup>	Accuracy at 20 °C <sup>d</sup>	Accuracy at -20 °C to +100 °C <sup>e</sup>	Long-term stability <sup>b</sup>	Overload capacity <sup>c</sup>	Burst pressure
bar	% MSP <sup>f</sup>	% MSP	% MSP	% MSP per year	bar	bar
0 bar to 1.6 bar relative pressure	0.25	0.5	1.5	0.2	6	10
0 bar to 2.5 bar relative pressure	0.25	0.5	1.5		10	15
0 bar to 4 bar relative pressure	0.25	0.5	1.2		16	24
0 bar to 6 bar relative pressure	0.25	0.5	1.2		24	36
0 bar to 10 bar relative pressure	0.25	0.5	1.0		40	60
0 bar to 16 bar relative pressure	0.25	0.5	1.0		60	100
0 bar to 25 bar relative pressure	0.25	0.5	1.0		150	250
0 bar to 40 bar relative pressure	0.25	0.5	1.0		300	400
0 bar to 60 bar relative pressure	0.2	0.5	1.0		300	400
0 bar to 100 bar relative pressure	0.25	0.5	1.0		300	400
-1 bar to +1.5 bar relative pressure	0.3	0.6	1.6		10	15
-1 bar to +3 bar relative pressure	0.3	0.5	1.3		16	24
-1 bar to +5 bar relative pressure	0.25	0.5	1.3		24	36
-1 bar to +9 bar relative pressure	0.25	0.5	1.2		40	60
-1 bar to +15 bar relative pressure	0.25	0.5	1.2		60	100
-1 bar to +24 bar relative pressure	0.25	0.5	1.2		150	250
0 bar to 1.6 bar absolute pressure	0.25	0.5	1.5		6	10
0 bar to 2.5 bar absolute pressure	0.25	0.5	1.5		10	15
0 bar to 4 bar absolute pressure	0.25	0.5	1.2		16	24
0 bar to 6 bar absolute pressure	0.25	0.5	1.2		24	36
0 bar to 10 bar absolute pressure	0.25	0.5	1.0		40	60
0 bar to 16 bar absolute pressure	0.25	0.5	1.0		60	100
0 bar to 25 bar absolute pressure	0.25	0.5	1.0		150	250
0 bar to 40 bar absolute pressure	0.25	0.5	1.0		300	400

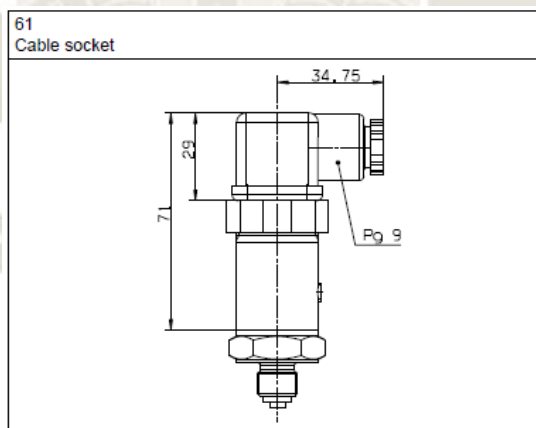
## SALIDA

Salida Analógica Salida 405	4 m Amp a 20 m Amp, 2 Cables
Paso de Respuesta	< 3 ms
Carga 4 m Amp a 20 m Amp, 2 Cables	$RL < (UB-10 V) \div 0.02 A ()$

## CARACTERISTICAS MECANICAS

Material de Conexión	Acero Inoxidable 316 Ti
Sello de proceso	El sistema de medición está soldado y, por lo tanto, totalmente libre de juntas.
Material de membrana	Acero Inoxidable 316 L
Material de carcasa	Acero Inoxidable 304
Conexión Eléctrica	
Enchufe redondo M12 × 1 (conexión eléctrica 36)	Fundición a presión de zinc, niquelado, PA, acero inoxidable 303

## CONEXIÓN ELECTRICA





## B-11 MANÓMETRO DE PVDF, PARA SUSTANCIAS CORROSIVAS

### Medidores de presión mecánicos de PVDF y PP

No se rompen si se los  
somete a presión

- Moldeados a partir de una mezcla más resistente de polímeros, lo que los hace más resistentes a las fisuras o grietas durante su instalación o uso
- Ideales para usarlos con agua ultrapura y sustancias químicas corrosivas
- Sello de diafragma y medidor moldeados en una unidad
- Todas las carcasas son secas pero pueden rellenarse



Medidor  
de PVDF  
68000-11

### Especificaciones

<b>Precisión:</b> ±1.5 % de la escala completa	<b>Temperatura de funcionamiento:</b> -4 a 140 °F (-20 a 60 °C)	<b>Lente:</b> vidrio para servicio pesado
<b>Unidades de medida:</b> psi, bar y kPa	<b>Materiales humectados:</b> PTFE o Viton	<b>Conexión del proceso:</b> 1/4" o 1/2" NPT (F)
		<b>Tamaño del dial:</b> 2 1/2" (64 mm)

Rango (psi)	Conexión de 1/4" NPT (F)		Conexión de 1/2" NPT (F)	
	Número de catálogo	Precio	Número de catálogo	Precio
<b>Medidor de PVDF; sello de diafragma de PTFE</b>				
0 a 15	<a href="#">YV-68000-01</a>		<a href="#">YV-68000-13</a>	
0 a 30	<a href="#">YV-68000-03</a>		<a href="#">YV-68000-15</a>	
0 a 60	<a href="#">YV-68000-05</a>		<a href="#">YV-68000-17</a>	
0 a 100	<a href="#">YV-68000-07</a>		<a href="#">YV-68000-19</a>	
0 a 160	<a href="#">YV-68000-09</a>		<a href="#">YV-68000-21</a>	
0 a 200	<a href="#">YV-68000-11</a>		—	
<b>Medidor de PP; sello de diafragma de Viton</b>				
0 a 15	<a href="#">YV-68000-25</a>		<a href="#">YV-68000-37</a>	
0 a 30	<a href="#">YV-68000-27</a>		<a href="#">YV-68000-39</a>	
0 a 60	<a href="#">YV-68000-29</a>		<a href="#">YV-68000-41</a>	

Precisión	± 1.5% en escala completa
Tamaño del dial (in)	2.5
Tamaño del disco (mm)	64
Presión mínima (PSI)	0
Presión máxima (PSI)	30
Temperatura mínima (° C)	-20
Temperatura máxima (° C)	60
Diafragma Relleno de	glicerina
Materiales mojados	PTFE
Estuche	PVDF
Material de la lente de	acrílico
Conexión de proceso	1/4 "NPT (F)
Unidad de medida	psi, bar, kPa
Visualización del dial	analógico
Compatibilidad de medios	Gases y líquidos compatibles con materiales húmedos.
Descripción	Manómetro de presión PVDF, sello de diafragma de PTFE, 1/4 "NPT (F); 0 a 30 psi

## B-12 SENSOR DE MANÓMETRO DE LIQUIDO

### Medidores de presión llenos

El movimiento  
exclusivo aísla las  
vibraciones en el  
medidor

- El relleno con glicerina y el amortiguador de presión minimizan las fluctuaciones de la aguja causadas por los rápidos cambios de presión, vibraciones o sobrevoltaje



#### Especificaciones

**Precisión:**  $\pm 1\%$  de la escala completa  
**Tamaño del dial:** 2 1/2" (64 mm)  
**Temperatura de funcionamiento:** -50 a 180 °F  
 (-45 a 82 °C)  
**Materiales humectados:** acero inoxidable 316  
**Lente:** policarbonato  
**Conexión de proceso:** 1/4" NPT (M)

Precisión	$\pm 1\%$ en escala completa (ANSI / ASME grado A)
Tamaño del dial (in)	2.5
Tamaño del disco (mm)	64
Presión mínima (PSI)	0
Presión máxima (PSI)	1000
Temperatura mínima (° F)	-50
Temperatura máxima (° F)	180
Temperatura mínima (° C)	-45
Temperatura máxima (° C)	82
Relleno de	Glicerina
Materiales mojados	316 SS
Material de la lente	policarbonato
Conexión de proceso	1/4 "NPT (M), inferior
Unidad de medida	psi
Visualizar	dial analógico
Compatibilidad de medios	Gases y líquidos compatibles con materiales húmedos.
Descripción	Manómetro de presión SS lleno de 2.5 "0-1000 psi, 1/4" NPT inferior

**B-13 ACCESORIO PARA INSTALACIÓN DE FLUJOMETRO  
ELECTROMAGNÉTICO**

**TEE de Policloruro de vinilo (PVC 80)**



Material de montaje	Policloruro de vinilo (PVC 80)
Tipo de conexión	unión TEE
Descripción	Polipropileno Tee Fitting Ppmt005 1 / 2in Mdl: Ppmt005



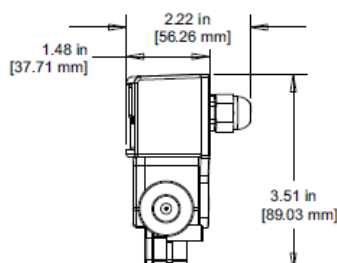
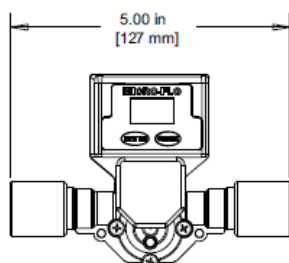
## B-14 FLUJOMETRO DE AGUA

# Blue-White<sup>®</sup>

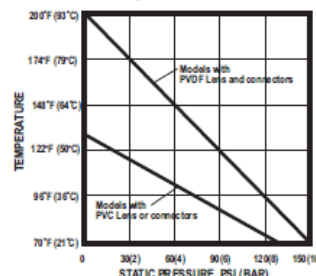
  
Industries, Ltd.

DigiFlo Digital Paddlewheel Meters

### Dimensions:



Maximum Temperature vs. Pressure



### Model Number Matrix:

#### METER FUNCTION

FS = Flow rate and Totalizing. On-sensor mounting  
FP = Flow rate and Totalizing. Remote panel mounting  
FV = Flow sensor only (no display)  
FX = Flow indicator only (no electronics)  
FA = Analog Output. Rate & Total. Sensor Mounted Display

#### POWER SUPPLY

1 = Transformer U.S. 115VAC/15VDC  
2 = Transformer E.U. 220VAC/15VDC  
3 = Transformer U.S. 230VAC/15VDC  
None = No selection (customer supplied)

#### FLOW RANGE SELECTION

10 = 30-300 ml/min  
20 = 100-1000 ml/min  
30 = 200-2000 ml/min  
40 = 300-3000 ml/min  
50 = 500-5000 ml/min  
60 = 700-7000 ml/min

#### O-RING SEAL SELECTION

V = Viton  
E = EPDM

#### CONNECTOR SELECTION

1 = .500" ID hose barb, PVC  
2 = .500" Male NPT, PVC  
3 = .500" Female NPT, PVC  
4 = .250" OD tubing connection, Polypropylene  
5 = .125" Female NPT, PVC  
6 = .375" OD tubing connection, PVDF  
7 = .250" Female NPT, PVC

#### LENS MATERIAL SELECTION

0 = Clear PVC  
1 = Opaque PVDF

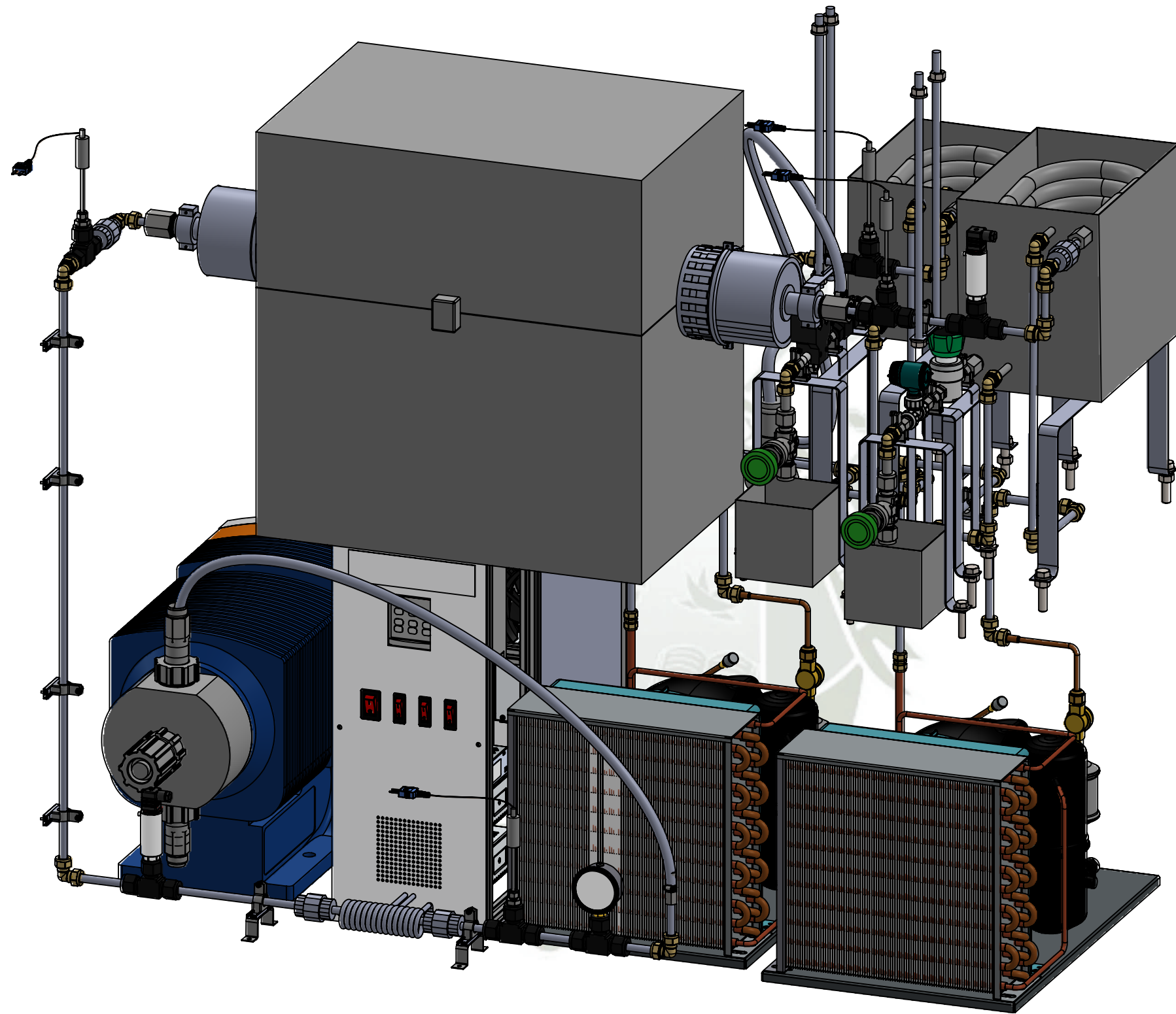
### 115V Models with 3/8" OD Tubing connections and clear PVC lens


Operating Flow Range		FS Models (Sensor Mount)	FP Models (Panel Mount)	FV Models (Sensor Only)	FX Models (Indicator Only)	FA Models (Indicator Only)
OZ/MIN	ML/MIN	Model Number	Model Number	Model Number	Model Number	Model Number
1 to 10	30 to 300	FS1-100-6V	FP1-100-6V	FV1-100-6V	FX-100-6V	FA1-100-6V
3.5 to 35	100 to 1000	FS1-200-6V	FP1-200-6V	FV1-200-6V	FX-200-6V	FA1-200-6V
7 to 70	200 to 2000	FS1-300-6V	FP1-300-6V	FV1-300-6V	FX-300-6V	FA1-300-6V
10 to 100	300 to 3000	FS1-400-6V	FP1-400-6V	FV1-400-6V	FX-400-6V	FA1-400-6V
17 to 170	500 to 5000	FS1-500-6V	FP1-500-6V	FV1-500-6V	FX-500-6V	FA1-500-6V
24 to 240	700 to 7000	FS1-600-6V	FP1-600-6V	FV1-600-6V	FX-600-6V	FA1-600-6V

Especificación Técnica	Descripción
Rango de medición	30 - 7000 mm/ min
Diámetro Exterior (OD)	3/8"
Max. Presión laboral	Lente de PVC 130 psig (9 bar) a 70 ° F (21 ° C)
Max. Temperatura del fluido	54 °C
Exactitud de escala completa	+/-6%
Material del sensor / paleta / eje	PVDF (Polifluoruro de vinilideno)
Material del conector	NPT Conexiones de PVC
Material de la lente de visualización:	Transparente PVC
Fuente de poder de entrada	9- 28 V DC
Voltaje de salida	5 V DC
Peso aproximado	1 Lb ( 0.45 Kg)



## **ANEXO C PLANOS DEL MODULO**



	FECHA	NOMBRE	UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA	
Dibujado por:	29/11/2019	Edwin Machaca Condori	Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales	
Revisado por:	29/11/2019	Dr. Hermann Alcázar	Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	
Escala	Titulo			PLANO N°:
1:20	VISTA GENERAL			0/12
				HOJA: 00 A3



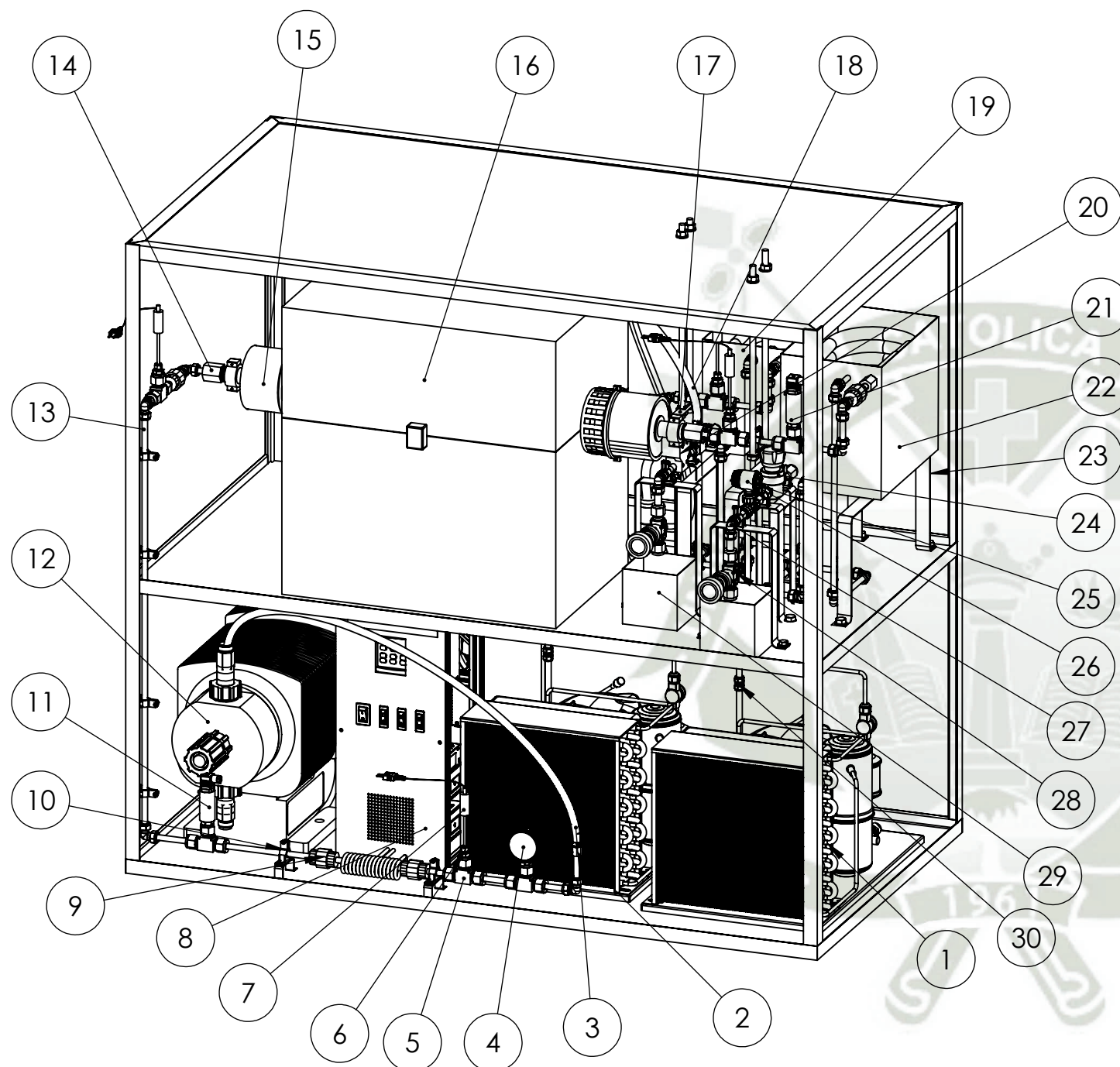

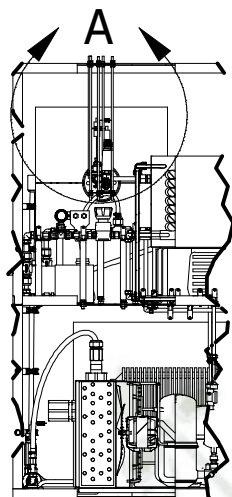


TABLA DE COMPONENTES

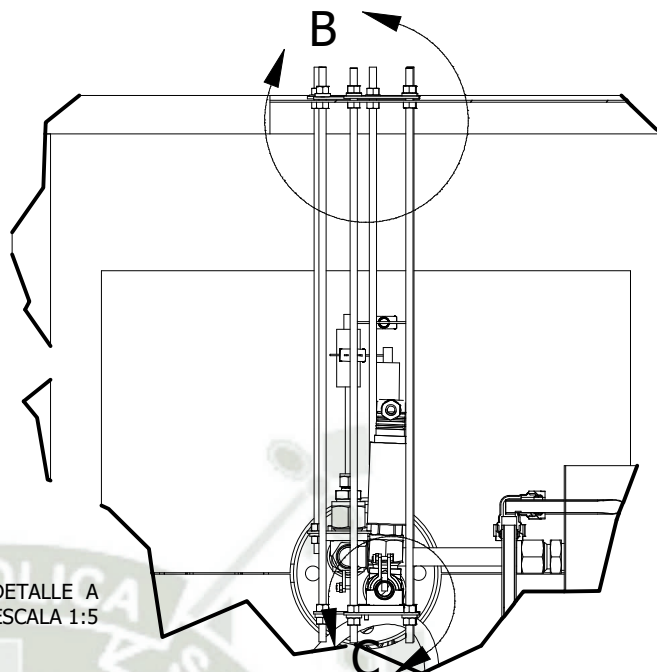
ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION
1	02	Unidad condensadora de 1/3 Hp
2	01	Reductor recto de Ø:1/2"-Ø:1/4"
3	01	Manguera flexible de Ø:1/4"
4	01	Manometro de 10 Bar
5	7	Tee hembra roscada NPT de Ø:1/4" para tuberia de Ø:3/8"
6	04	Conector macho roscado NPT de Ø:1/4" para tuberia de 1/8"
7	03	Termocupla para salmuera
8	01	Calentador inductivo
9	05	Union de universal de Ø:3/8"
10	15	Soporte con abrazadera para tuberia de Ø:3/8"
11	01	Sensor de presion de 10 Bar
12	01	Bomba dosificadora
13		Tuberia de Ø: 3/8" de e:0.89 mm
14	01	Racor reductor de Ø: 1" para tuberia de Ø:3/8"
15	01	Modulo de membrana
16	01	Horno calentador
17	02	Soporte colgante
18	02	Manguera flexiblede Ø:1/4"
19	01	Sistema de condensacion de vapor
20	01	Medidor de flujo de agua
21	01	Sensor de presion de 2 Bar
22	01	Sistema de enfriamiento de salmuera
23	04	Soporte de intercambiador de calor
24	01	Vavula reductora de presion de Ø:3/8"
25	02	Conector macho roscado NPT de 1/4, con racor para tuberia de Ø:3/8"
26	01	Medidor flujo de salmuera
27	14	Codo de 90° para tuberia de Ø:3/8"
28	02	Valvula de bola para tuberia de Ø:3/8"
29	02	Recipiente recolector de agua
30	02	Racor recto de Ø:3/8"

	FECHA	NOMBRE	UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA		
Dibujado por:	29/11/2019	Edwin Machaca Condori	Facultad de Ciencias e Ingenierias Fisicas y Formales		
Revisado por:	29/11/2019	Dr. Hermann Alcázar	Escuela Profesional de Ingenieria Mecanica, Mecanica Electrica y Mecatronica		
Escala  1:20	Titulo   				

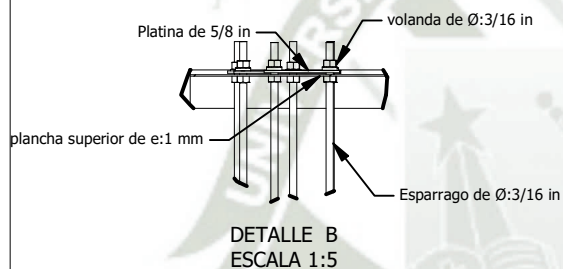
# SOPORTE COLGANTE PARA TUBERIA



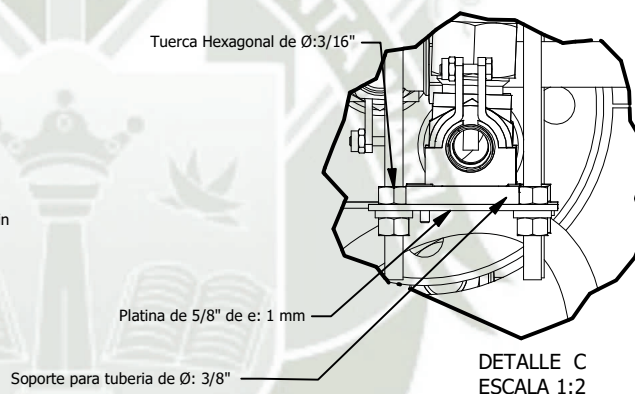
SECCIÓN DE CORTE LATERAL  
ESCALA 1 / 20



DETALLE A  
ESCALA 1:5

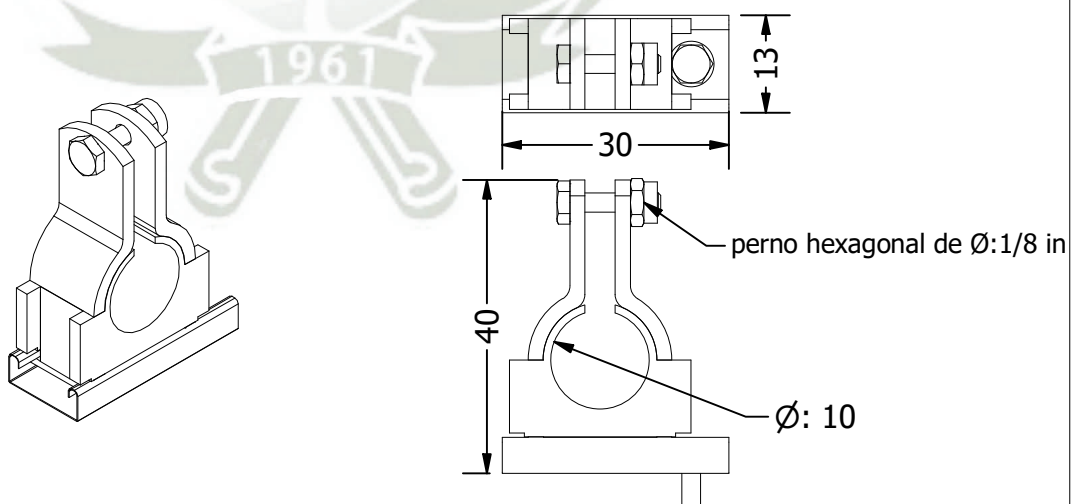


DETALLE B  
ESCALA 1:5



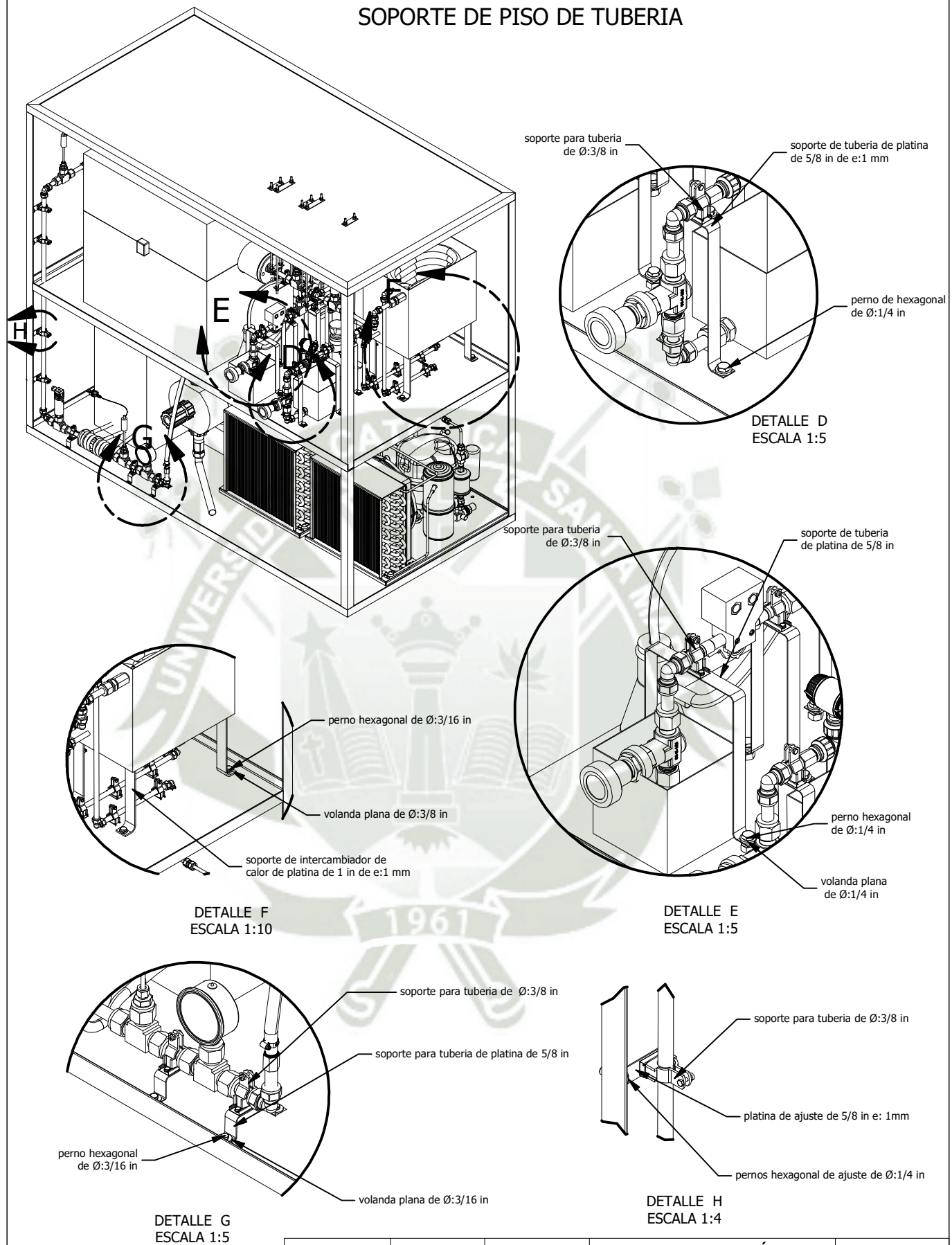
DETALLE C  
ESCALA 1:2

Soporte para tubería de Ø:3/8"



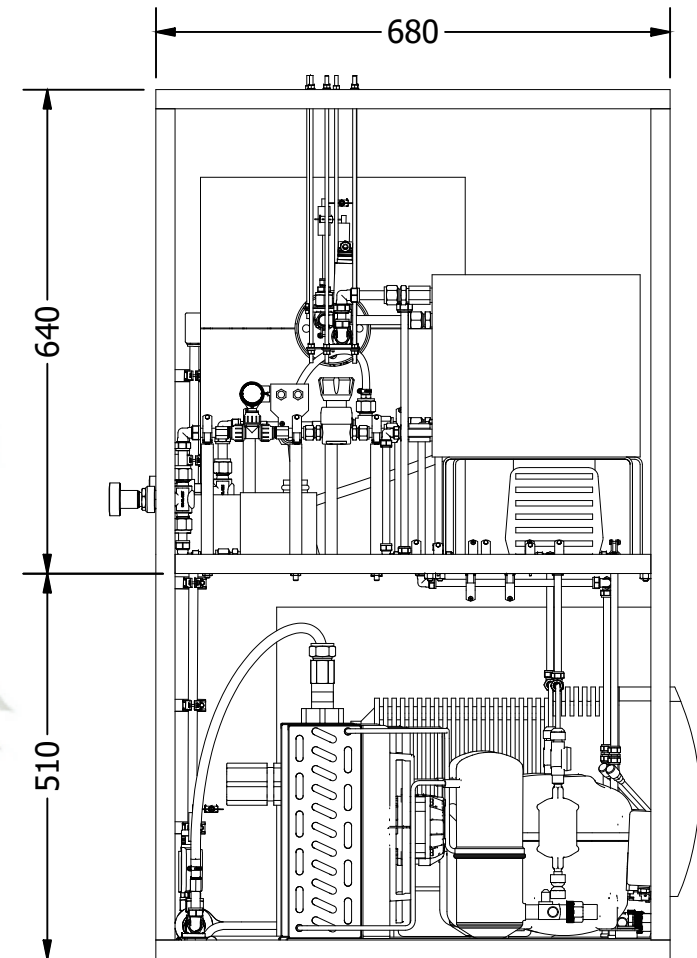
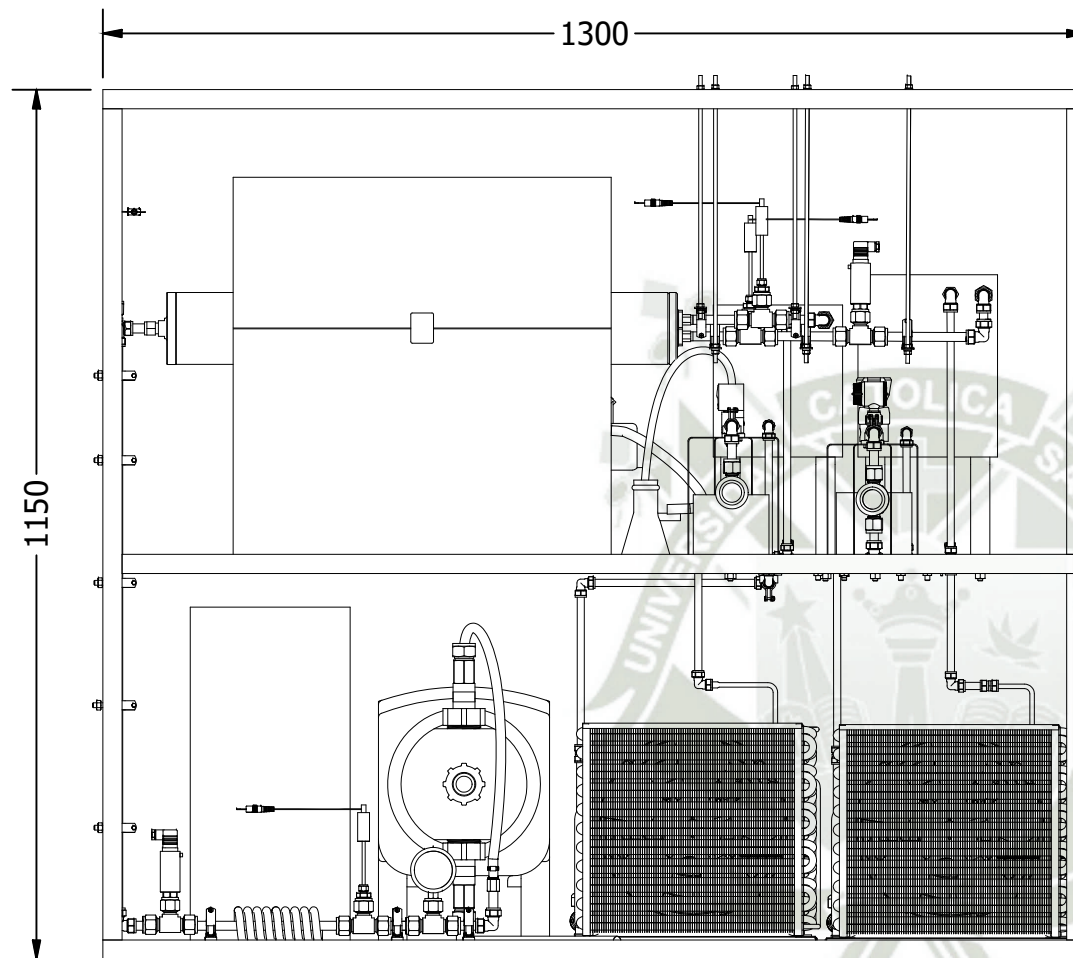
	FECHA	NOMBRE	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		
Dibujado por:	29/11/2019	Edwin Machaca Condori	Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales		
Revisado por:	29/11/2018	Dr. Hermann Alcázar	Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica		
Escala:	Título :  SOPORTE COLGANTE			PLANO N°: 2/12	
Indicada				HOJA: 2      A4	


# SOPORTE DE PISO DE TUBERIA



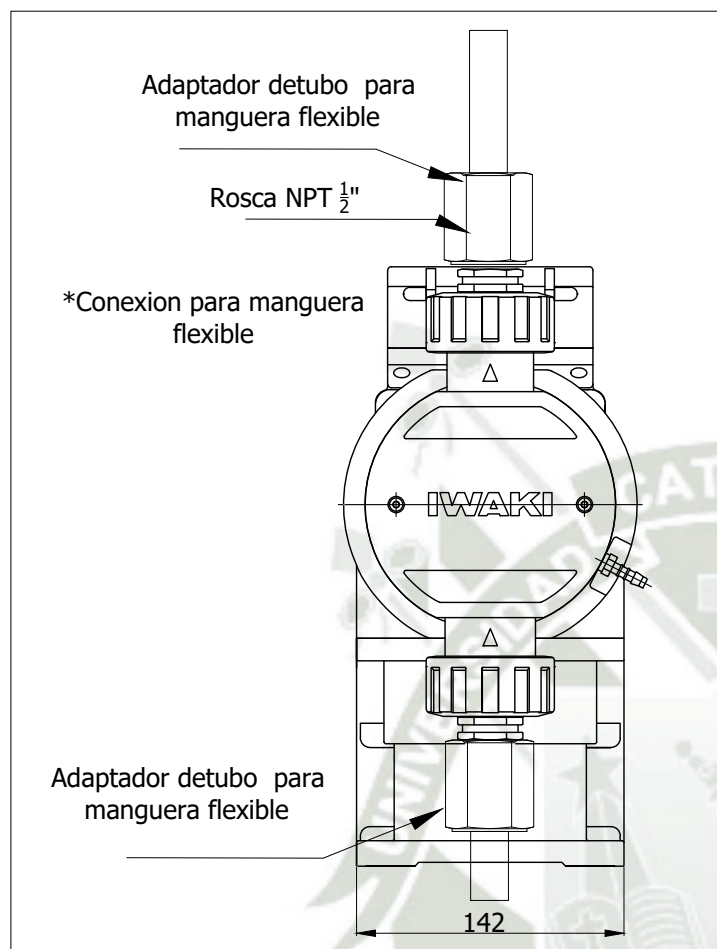
	FECHA	NOMBRE	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA	
Dibujado por:	29/11/2019	Edwin Machaca Condori	Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales	
Revisado por:	29/11/2019	Dr. Hermann Alcázar	Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	
Escala:	Título :			PLANO N°:
Indicada	SOPORTE DE PISO DE TUBERIA			3/12
				HOJA:
				3 A4



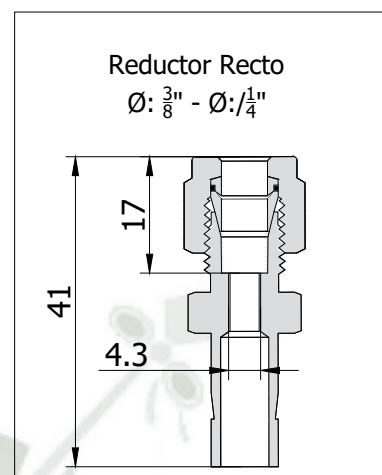


	<b>FECHA</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA</b>	
<b>Dibujado por:</b>	29/11/2019	Edwin Machaca Condori	Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales	
<b>Revisado por:</b>	29/11/2019	Dr. Hermann Alcázar	Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	
<b>Escala:</b>	<b>Título :</b>			<b>PLANO N°:</b>
Indicada	DIMENSIONES DEL MODULO			4/12
				<b>HOJA:</b>
				4 A4

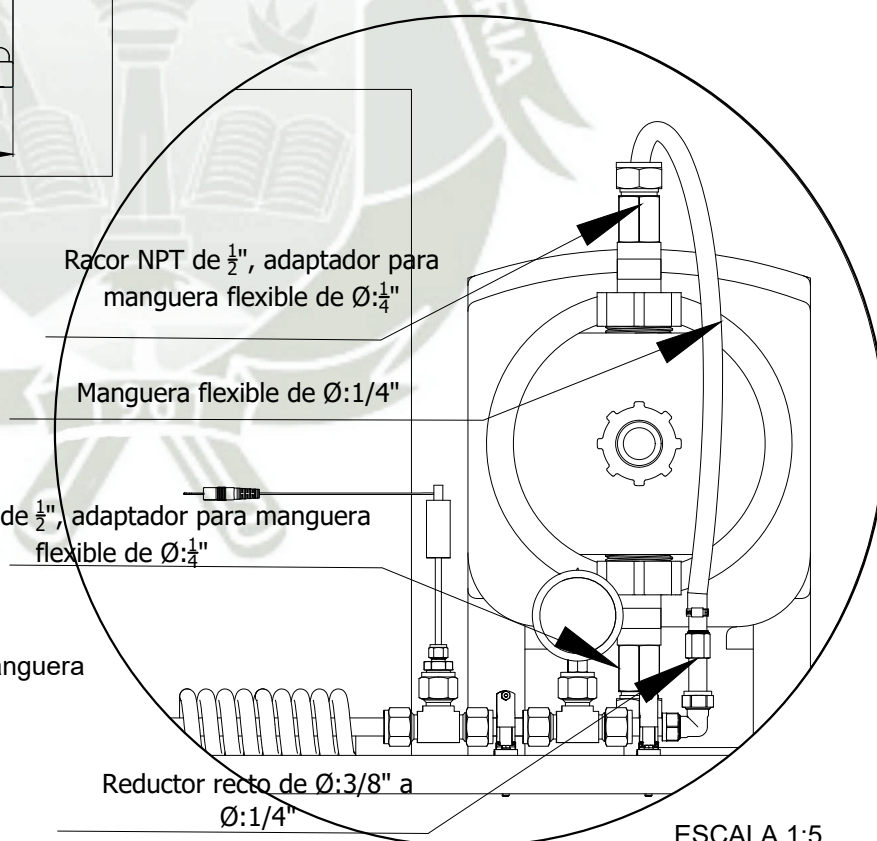
# CONEXIÓN DE BOMBA DOSIFICADORA



ESCALA 1:4



ESCALA 1:1



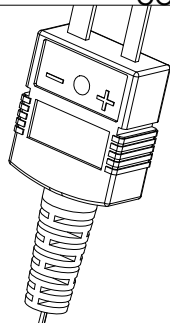
ESCALA 1:5

\*La instalacion se realizara con una manguera flexible de Ø: 1/4"

	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA	
Dibujado por:	29/11/2019	Edwin Machaca C.	Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales	
Revisado por:	29/11/2019	Dr. Hermann Alcázar	Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	
Escala Indicada	Titulo:  Conexion de Bomba Dosificadora		PLANO N° 5/12	
			HOJA: 5	A4

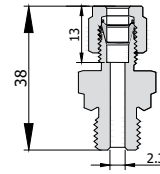


## CONEXIÓN DE LAS TERMOCUPLAS



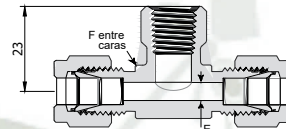
Termocupla

Conector Macho NTP Ø:1/4" para  
tubería de Ø:1/8"



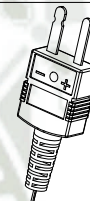
Escala 1:2

TEE Hembra NTP Ø:1/4"  
Para tubería de Ø:3/8"



Escala 1:2

Termocupla

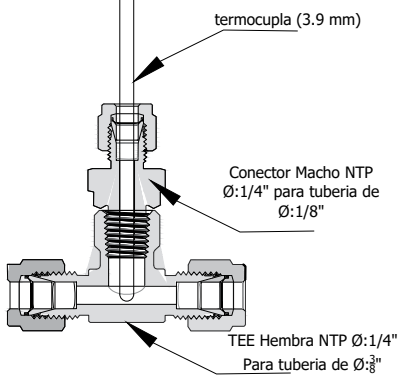


38


113

Diametro de termocupla  
Ø:0.154" (3.9 mm)

Escala 1:4

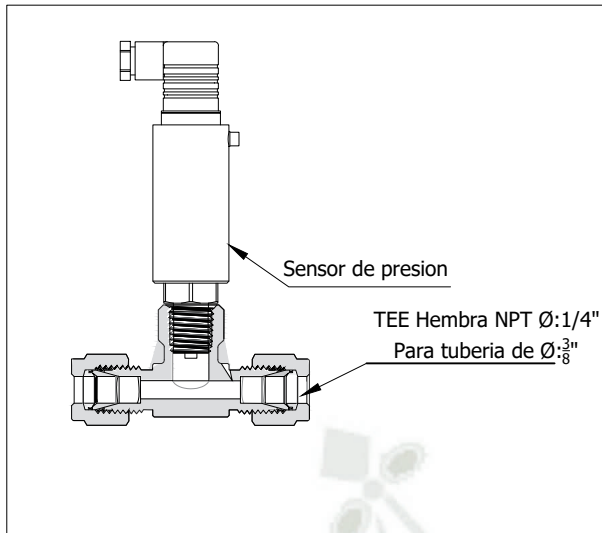


Escala 1:2

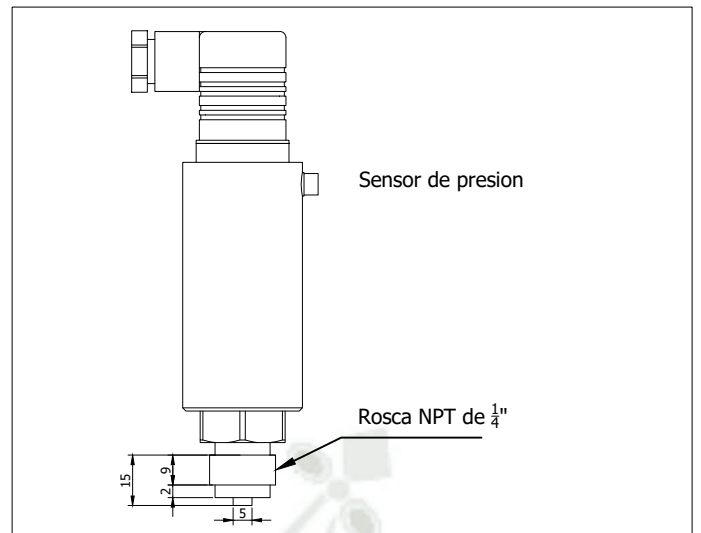
	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		
Dibujado por:	29/11/2019	Edwin Machaca C.	Facultad de Ciencias e Ingenierias Fisicas y Formales		
Revisado por:	29/11/2019	Dr. Hermann Alcázar	Escuela Profesional de Ingenieria Mecanica, Mecanica Eléctrica y Mecatrónica		
Escala Indicada	Titulo:  Conexion de Termocupla		PLANO N°  6/12		
			HOJA:  6		A4



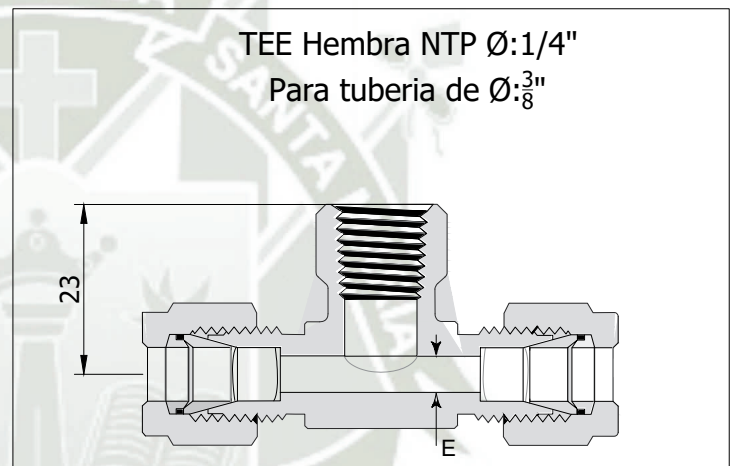
## CONEXION DE SENSOR DE PRESION



ESCALA 1:2

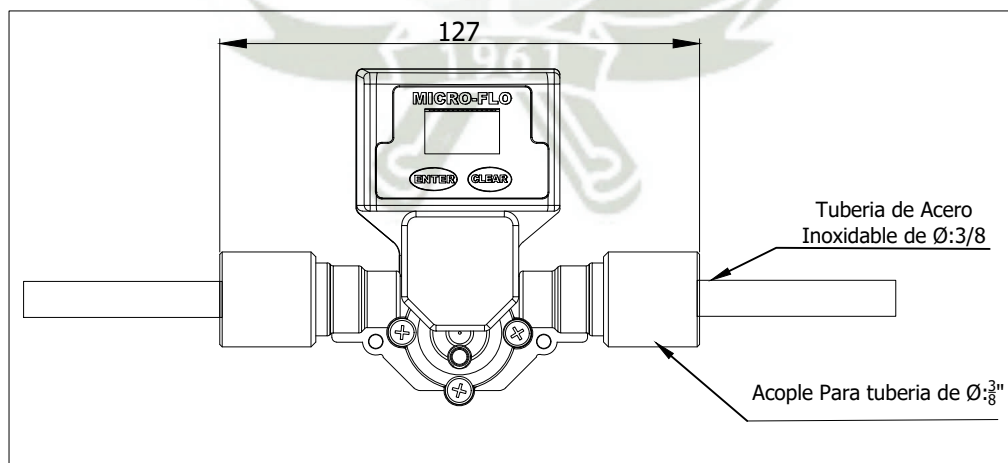


ESCALA 1:2



ESCALA 1:1

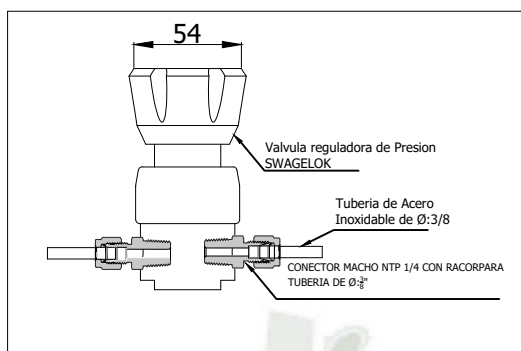
## CONEXION DE FLUJOMETRO DE AGUA



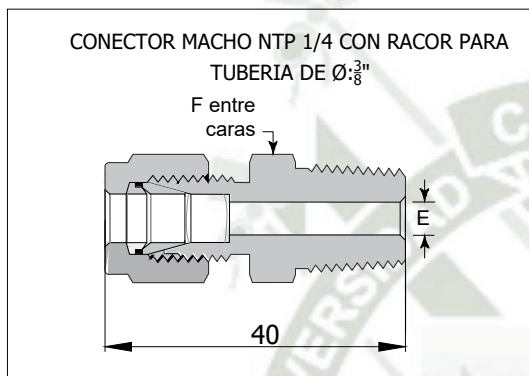
ESCALA 1:2

	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA	
<b>Dibujado por:</b>	29/11/2019	Edwin Machaca C.	Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales	
<b>Revisado por:</b>	29/11/2019	Dr. Hermann Alcázar	Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	
<b>Escala</b> Indicada	<b>Título:</b>  Conexión de Sensor de Presion y Caudal		<b>PLANO N°</b>  7/12	
			<b>HOJA:</b> 7	A4

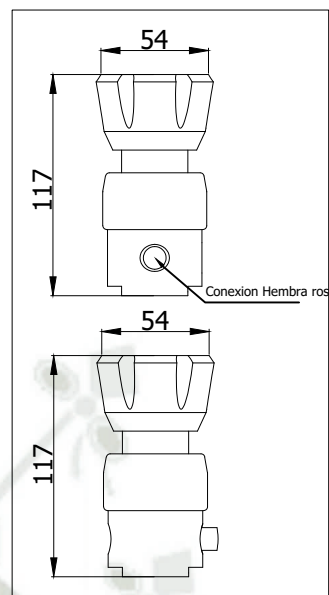
## CONEXIÓN DE VÁLVULA REGULADORA DE



ESCALA 1:4

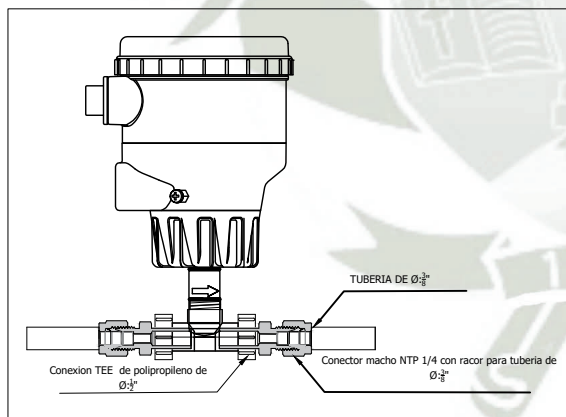


ESCALA 1:2

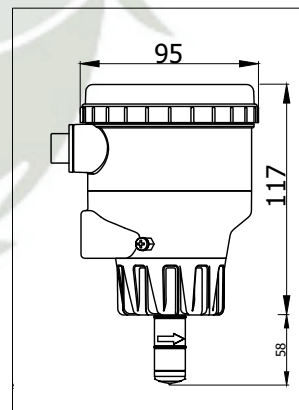


ESCALA 1:4

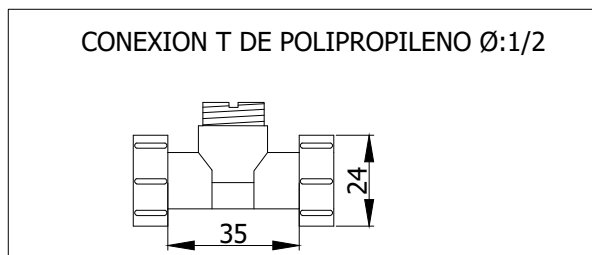
## CONEXION DE FLUJOMETRO ELECTROMAGNETICO PARA SALMUERA



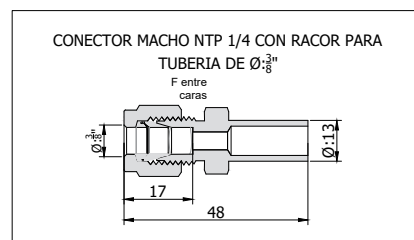
ESCALA 1:4




ESCALA 1:4



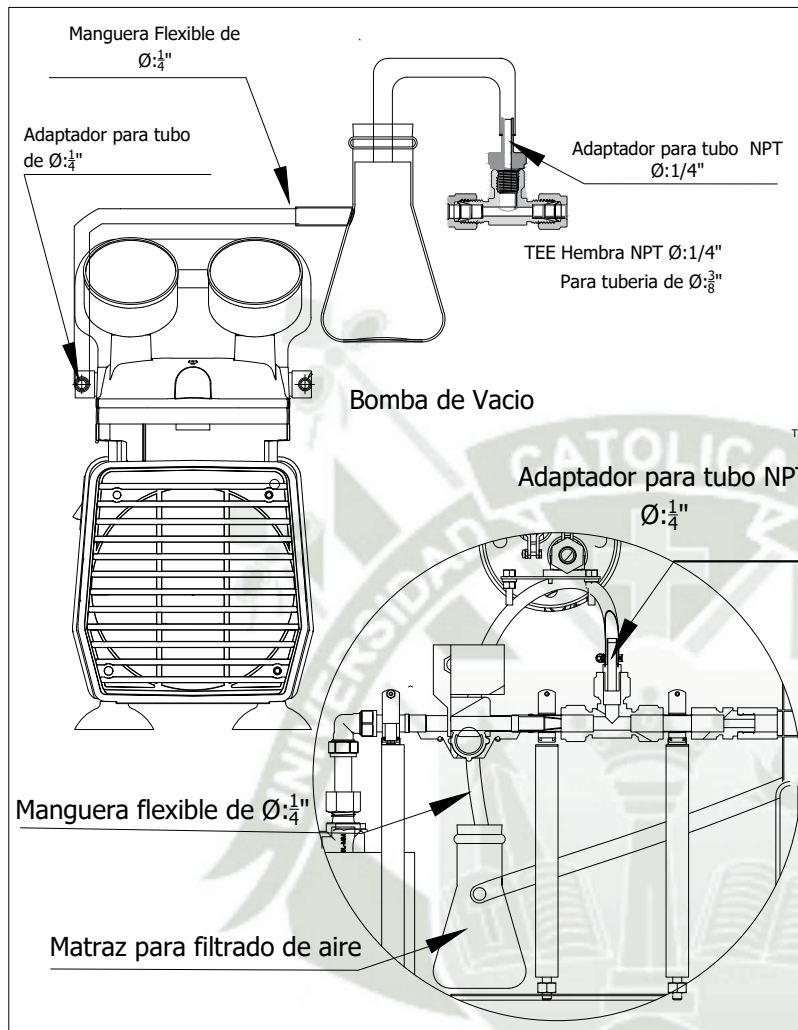
ESCALA 1:2



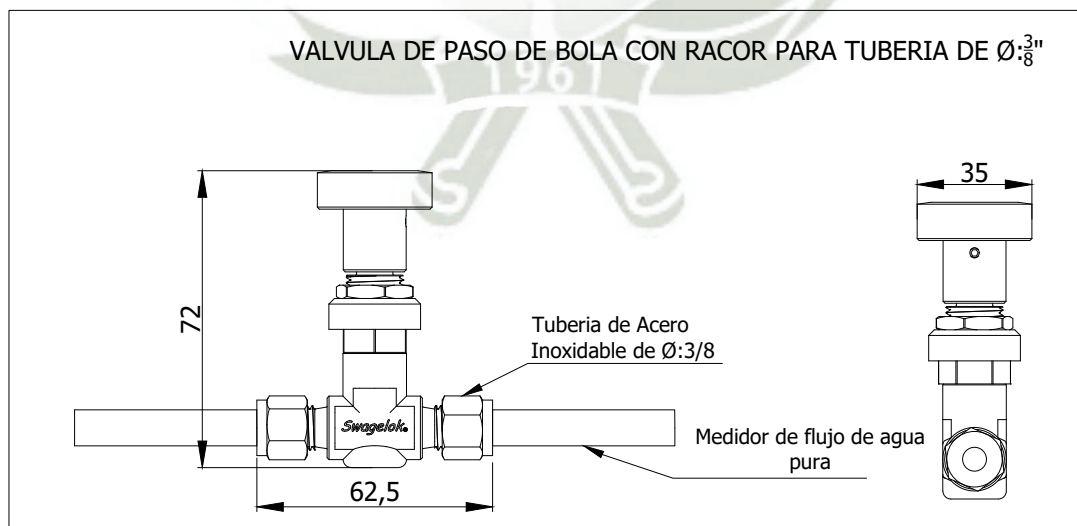
ESCALA 1:2


	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		
Dibujado por:	29/11/2019	Edwin Machaca C.	Facultad de Ciencias e Ingenierias Fisicas y Formales		
Revisado por:	29/11/2019	Dr. Hermann Alcázar	Escuela Profesional de Ingenieria Mecanica, Mecanica Eléctrica y Mecatrónica		
Escala Indicada	Título:  Conexión de Válvula reguladora de presión y Flujometro Magnetico		PLANO N°  8/12		
			HOJA:  8		A4

# CONEXIÓN DE BOMBA DE VACÍO



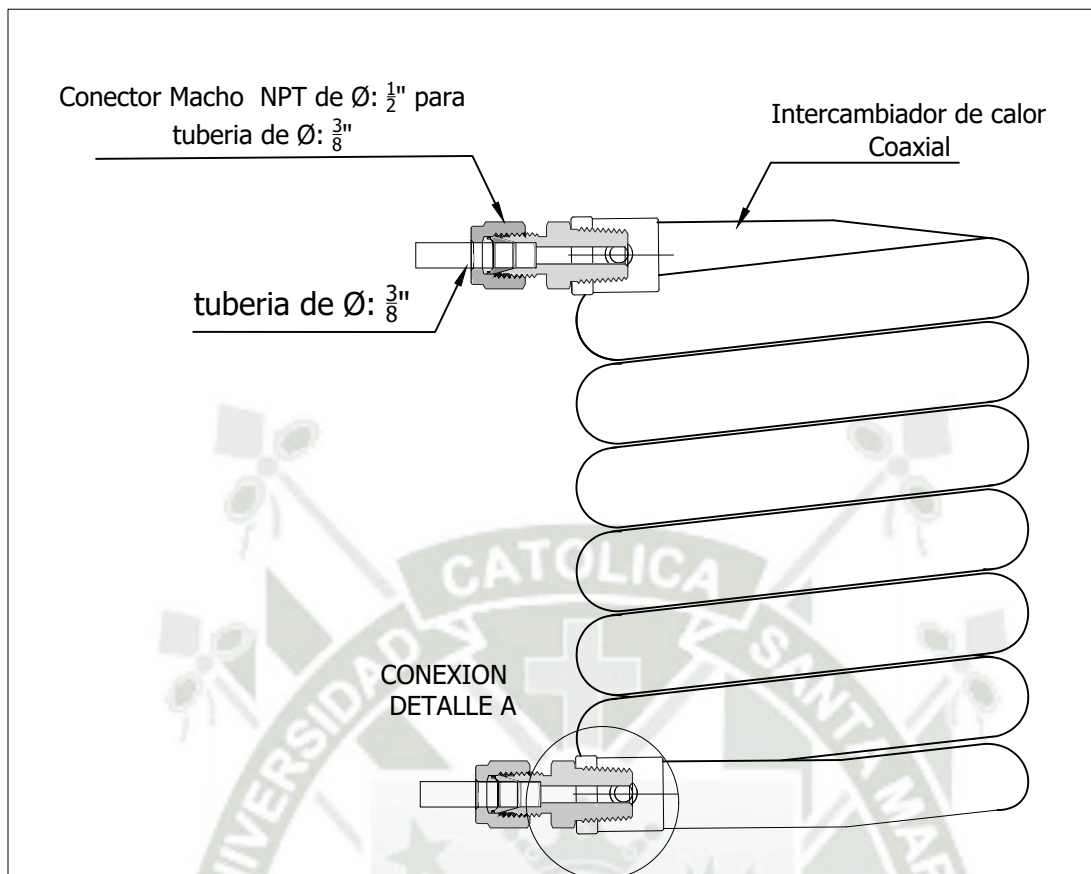
## CONEXION DE VALVULA DE PASO



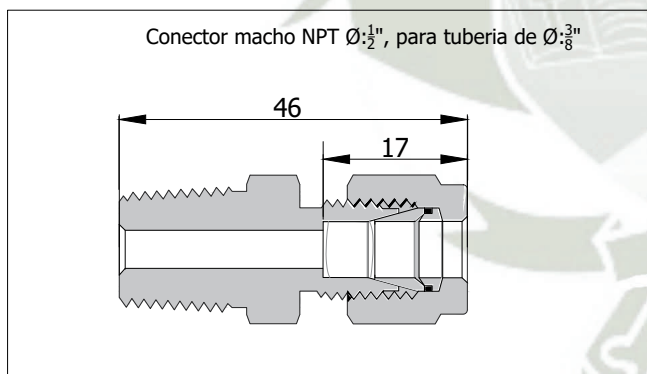
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales		
<b>Dibujado por:</b>	29/11/2019	<b>Nombre</b>	Edwin Machaca C.	
<b>Revisado por:</b>	29/11/2019		Dr. Hermann Alcázar	
<b>Escala</b>	<b>Título:</b>			<b>PLANO N°</b>
Indicada	Conexion de Bomba de Vacío y Válvula de Paso			9/12
				<b>HOJA:</b>
				9
				A4



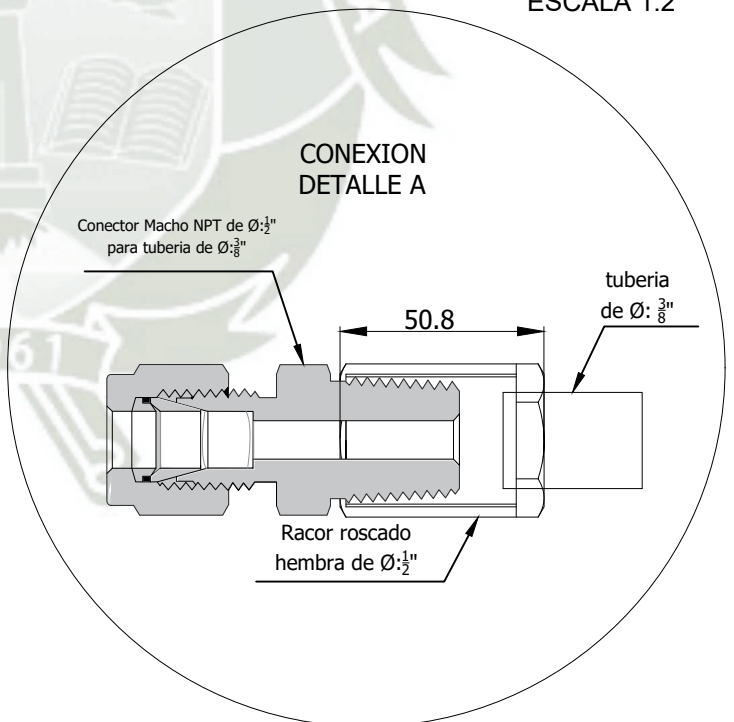
# CONEXIÓN DE INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA CONDENSAR VAPOR



ESCALA 1:2



ESCALA 1:2

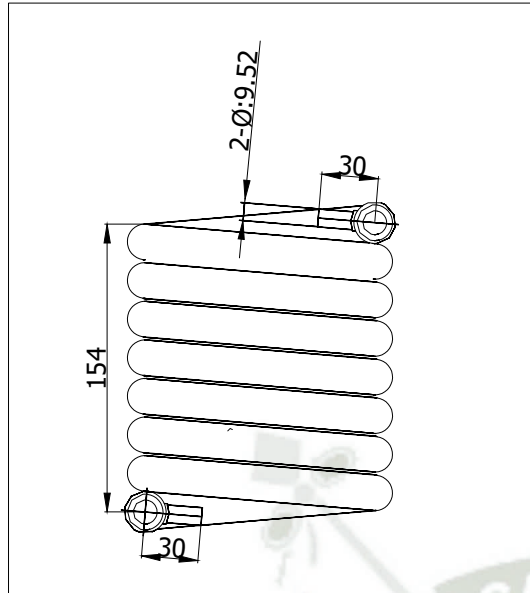


ESCALA 1:2

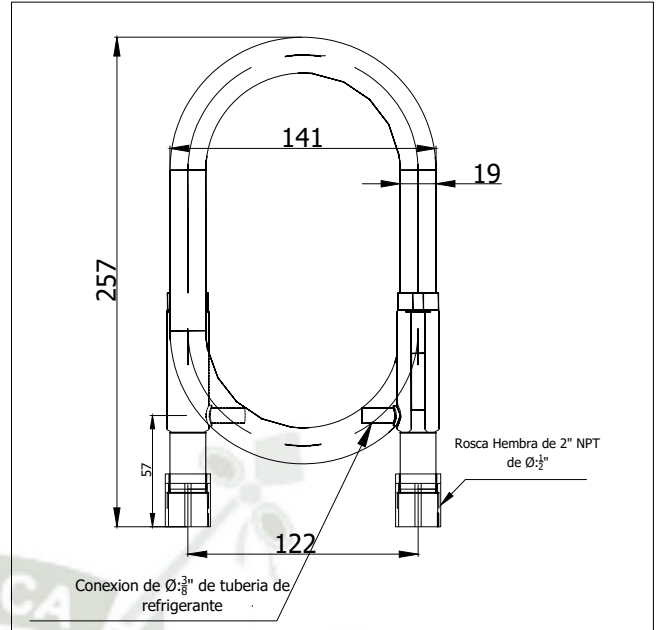
	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA	
Dibujado por:	29/11/2019	Edwin Machaca C.	Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales	
Revisado por:	29/11/2019	Dr. Hermann Alcázar	Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	
Escala  Indicada	Título:  Conexión de Intercambiador Coaxial		PLANO N°  10/12	
			HOJA:  10	A4



## INTERCAMBIADOR DE CALOR COAXIAL DE 1.7 KW

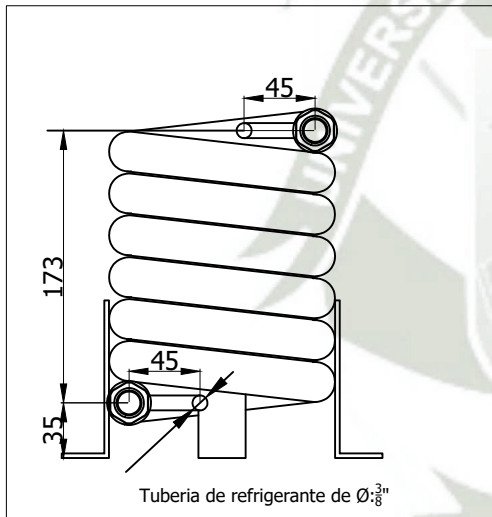


ESCALA 1:4

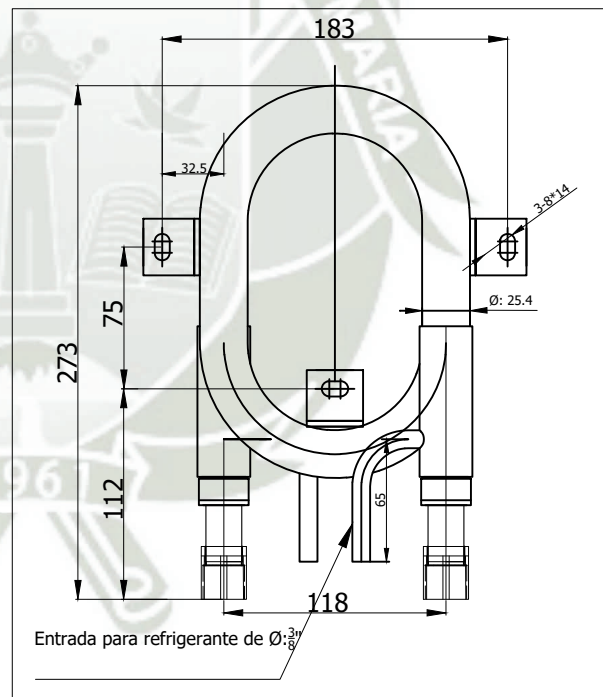


ESCALA 1:4

## INTERCAMBIADOR DE CALOR COAXIAL DE 3.5 KW

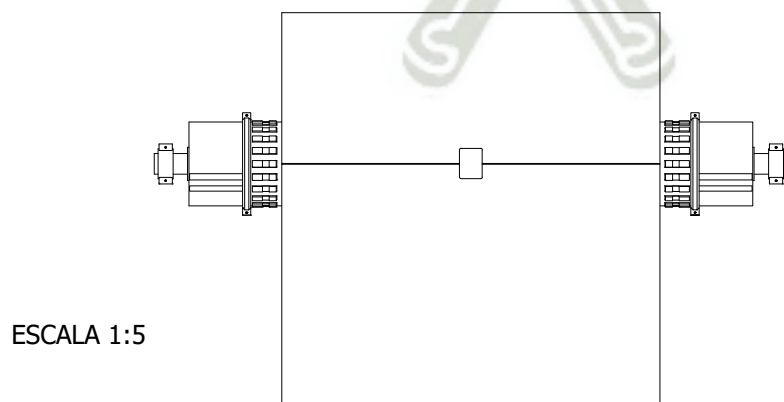
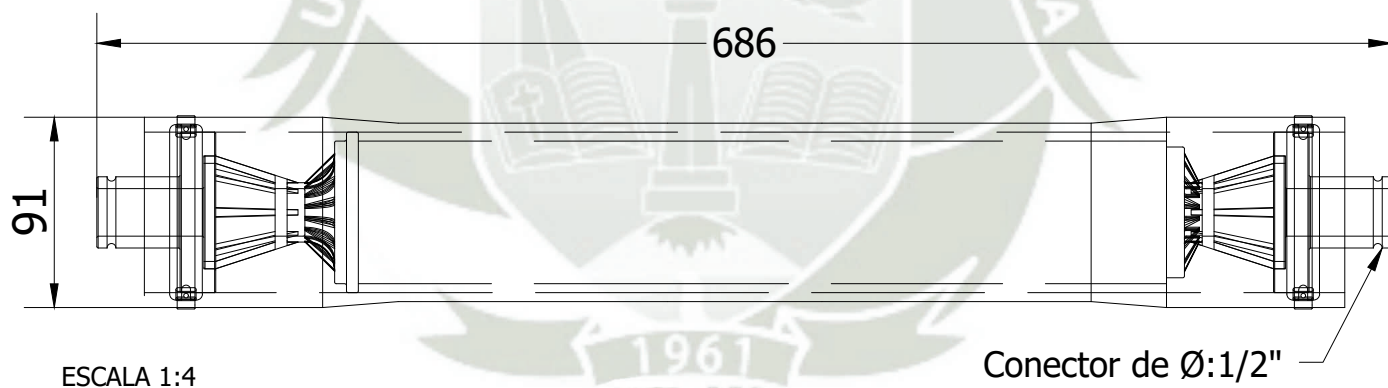
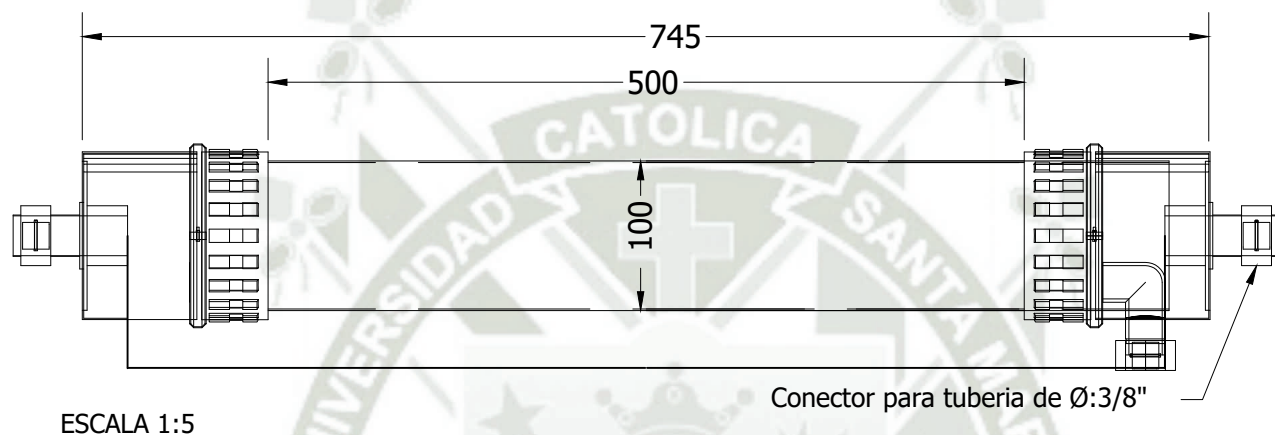
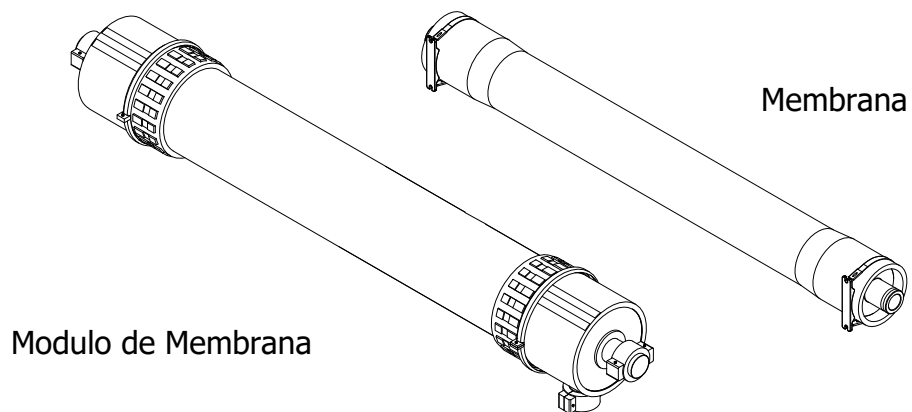



ESCALA 1:4



ESCALA 1:4

	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA	
Dibujado por:	29/11/2019	Edwin Machaca C.	Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales	
Revisado por:	29/11/2019	Dr. Hermann Alcázar	Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	
Escala  Indicada	Título:  Intercambiadores de calor coaxial de 3.5 Kw y 1.7 Kw		PLANO N°  11/12	
			HOJA: 11	A4



	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		
Dibujado por:	29/11/2019	Edwin Machaca C.	Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales		
Revisado por:	29/11/2019	Dr. Hermann Alcázar	Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica		
Escala  Indicada	Título:  Modulo de membrana			PLANO N°  12/12	
				HOJA:  12	A4



## ANEXO D PROGRAMACION DE SIMULACION EN ESS

### (ENGINEERING EQUATION SOLVER)

#### CALENTAMIENTO DE SALMUERA

$$h_{\text{inicial}} = h(\text{NaCl}, T = T_{\text{inicial}}, C = C_{\text{NaCl}}, P = P_{\text{inicial}})$$

$$h_{\text{final}} = h(\text{NaCl}, T = T_{\text{final}}, C = C_{\text{NaCl}}, P = P_{\text{inicial}})$$

$$m_{\text{salmuera, inicial}} = \text{Densidad}_{\text{salmuera, 20}^\circ\text{C}} \cdot Q_{\text{ingreso, 1,1}}$$

$$\text{Densidad}_{\text{salmuera, 20}^\circ\text{C}} = \rho(\text{NaCl}, T = T_{\text{inicial}}, C = C_{\text{NaCl}})$$

$$\text{Potencia}_{\text{para, calentar}} = m_{\text{salmuera, inicial}} \cdot (h_{\text{final}} - h_{\text{inicial}})$$

#### Potencia necesaria para calentar la salmuera

#### Entalpia de salmuera de ingreso

$$h_{\text{ingreso, salmuera}} = h(\text{NaCl}, T = T_{\text{ingreso, salmuera}}, C = \text{Concentracion}, P = \text{Presion}_{\text{salmuera}})$$

#### Entalpia de salmuera de salida

$$P_{\text{liquida}} = P(\text{water}, T = T_{\text{salida, salmuera}}, X = X_{\text{liquido}})$$

$$X_{\text{liquido}} = 0$$

$$h_{\text{salida, salmuera}} = h(\text{NaCl}, T = T_{\text{salida, salmuera}}, C = \text{Concentracion}_1, P = P_{\text{liquida}})$$

$$h_{\text{ingreso, salmuera}} = h_1$$

$$h_{\text{salida, salmuera}} = h_2$$

#### Entalpia de salida del vapor

$$h_3 = h(\text{water}, T = T_3, X = x_3)$$

$$x_3 = 1$$

$$Q_{\text{ingreso, 1,1}} = \frac{Q_{\text{ingreso, salmuera}}}{1000 \cdot 60}$$

#### caudal de ingreso de salmuera m3/seg

$$\text{Densidad}_{\text{ingreso, salmuera}} = \rho(\text{NaCl}, T = T_{\text{ingreso, salmuera}}, C = \text{Concentracion}) \quad \text{Densidad de salmuera a 65}^\circ\text{C}$$

$$m_{\text{salmuera, in}} = Q_{\text{ingreso, 1,1}} \cdot \text{Densidad}_{\text{ingreso, salmuera}}$$

#### Flujo masico de salmuera de ingreso 1

$$m_{\text{vapor}} = \frac{Q_{\text{Potencia, calorifica}} + m_{\text{salmuera, in}} \cdot (h_1 - h_2)}{h_3 - h_2}$$

#### Flujo masico del vapor 3

$$m_{\text{salmuera, salida}} = m_{\text{salmuera, in}} - m_{\text{vapor}}$$

#### Flujo masico de la salmuera 2

#### Hallamos la potencia del condensador

$$h_4 = h(\text{water}, T = T_4, X = x_4) \quad \text{Entalpia de liquido a 90}^\circ\text{C}$$

$$T_4 = 90$$

$$x_4 = 0$$

#### Potencia del condensador

$$\text{Potencia}_{\text{condensador}} = m_{\text{vapor}} \cdot (h_3 - h_4)$$

#### Potencia del enfriador

$$P_{\text{agua, 20}} = P(\text{water}, T = T_{20}, X = x_{20})$$

Presion de la salmuera a la salida del enfriador 20C

$$x_{20} = 1$$

$$h_{salida,20} = h ( \text{NACL} , T = T_{20} , C = C_{20} , P = P_{\text{agua},20} )$$

$$C_{20} = 0.35$$

$$h_5 = h_{salida,20}$$

$$\text{Potencia}_{\text{del,enfriador}} = m_{\text{salmuera,salida}} \cdot (h_2 - h_5) \quad \text{Potencia del enfriador}$$

HALLAMOS LA LONGITUD DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA CONDENSAR VAPOR

$$\text{Densidad}_{\text{vapor}} = \rho ( \text{Steam} , T = T_3 , x = x_3 )$$

$$\text{Viscosidad}_{\text{vapor}} = \text{Visc} ( \text{Steam} , T = T_3 , x = x_3 )$$

$$\text{Area}_1 = \frac{\pi}{4} \cdot D_{\text{Condensador}}^2$$

$$\text{Velocidad}_{\text{vapor}} = \frac{m_{\text{vapor}}}{\text{Densidad}_{\text{vapor}} \cdot \text{Area}_1}$$

Velocidad del vapor en el condensador

$$N_{\text{Reynolds,Condensador}} = \frac{\text{Densidad}_{\text{vapor}} \cdot \text{Velocidad}_{\text{vapor}} \cdot D_{\text{Condensador}}}{\text{Viscosidad}_{\text{vapor}}}$$

HALLAMOS LOS COEFICIENTES DE CONVECCION DE VAPOR QUE SE VA A CONDENSAR

$$k_{\text{vapor}} = k ( \text{Steam} , T = T_3 , x = x_3 )$$

Conductividad termica del vapor a 90C

$$\text{Pr}_{\text{vapor}} = \text{Pr} ( \text{Steam} , T = T_3 , x = x_3 ) \quad \text{Numero de prandl del vapor}$$

$$x_7 = 1$$

$$Y_{\text{vapor}} = (1 - \text{Calidad}_{\text{del,vapor}})^{0.8} + 3.8 \cdot \text{Calidad}_{\text{del,vapor}}^{0.76} \cdot \frac{(1 - \text{Calidad}_{\text{del,vapor}})^{0.04}}{\left[ \frac{P_6}{P_7} \right]^{0.38}}$$

$$\text{Coeficiente}_{\text{conveccion,interno}} = Y_{\text{vapor}} \cdot \text{Coeficiente}_{\text{conveccion,vapor}}$$

COEFICIENTE DE CONVECCION CONSIDERANDO LA CONDENSACION DEL REFRIGERANTE R-134 a

$$x_8 = 1$$

$$P_{\text{Baja}} = P ( \text{R134a} , T = T_{\text{EVAPORADOR}} , x = x_8 ) \quad \text{Presion de baja}$$

$$P_{\text{Alta}} = P ( \text{R134a} , T = T_{\text{CONDENSADOR}} , x = x_9 ) \quad \text{Presion de alta}$$

$$h_{4,\text{ciclo}} = h_{3,\text{ciclo}}$$

$$x_9 = 1$$

$$m_{\text{refrigerante}} = \frac{\text{Potencia}_{\text{condensador}}}{h_{1,\text{ciclo}} - h_{4,\text{ciclo}}}$$

Flujo masico de refrigerante

APLICAMOS LA CORRELACION PARA UN FLUIDO QUE SE VA A EVAPORAR

HALLAMOS EL REYNOLDS

$$\text{Diametro}_{\text{interno}} = D_{\text{Condensador}}$$

$$\text{Diametro}_{\text{Hidraulico,R134a}} = \text{Diametro}_{\text{externo}} - \text{Diametro}_{\text{interno}}$$

Diametro hidraulico dentro del condensador

$$\text{Velocidad}_{\text{R134a}} = \frac{m_{\text{refrigerante}}}{\text{Densidad}_{\text{del,refrigerante}} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \text{Diametro}_{\text{Hidraulico,R134a}}^2} \quad \text{Velocidad del refrigerante}$$

$$\text{REYNOLDS}_{\text{Refrigerante}} = \frac{\text{Densidad}_{\text{del,refrigerante}} \cdot \text{Velocidad}_{\text{R134a}} \cdot (1 - X_{1,\text{Refrigerante}}) \cdot \text{Diametro}_{\text{Hidraulico,R134a}}}{\text{Viscosidad}_{\text{dinamica,R134a}}} \quad \text{Numero de Re}$$

$$Y = \frac{X_{1,\text{Refrigerante}}}{(1 - X_{1,\text{Refrigerante}})^{0.75}} \cdot \left[ \frac{\text{Pactual}_{\text{del,evaporador}}}{\text{P}_{\text{critica,evaporador,5}}} \right]^{\left[ \frac{-3}{8} \right]} \cdot \text{masa}_{\text{molar,134a}}^{(1/8)}$$

Facor de correlacion para el condensador

$$\text{Pactual}_{\text{del,evaporador}} = P(\text{R134a}, T = T_{\text{con,sobrecalentamiento}}, X = X_g)$$

$$\text{P}_{\text{critica,evaporador,5}} = P_{\text{Baja}}$$

Presion critica del evaporador= a la presion de baja del condensador

$$\text{masa}_{\text{molar,134a}} = \text{MolarMass}(\text{R134a}) \quad \text{Masa molar del R-134a}$$

COEFICIEENTE DE CONVECCION

$$\text{Coeficiente}_{\text{conveccion,externa}} = 0.023 \cdot \frac{K_{\text{conductividad,5C}}}{\text{Diametro}_{\text{Hidraulico,R134a}}} \cdot \text{REYNOLDS}_{\text{Refrigerante}}^{0.8} \cdot \text{Numero}_{\text{prantl,5C}}^{0.4} \cdot (3.2 \cdot Y + 1)$$

Hallamos la longitud del intercambiador de calor

$$T_{\text{ingreso,del,vapor}} = T_3$$

$$T_{\text{salida,refrigerante}} = T_{\text{CONDENSADOR}}$$

$$\text{DIFERENCIA}_1 = T_{\text{ingreso,del,vapor}} - T_{\text{salida,refrigerante}}$$

$$T_{\text{salida,condensado}} = T_3$$

$$T_{\text{ingreso,refrigerante}} = T_{\text{EVAPORADOR}}$$

$$\text{DIFERENCIA}_2 = T_{\text{salida,condensado}} - T_{\text{ingreso,refrigerante}}$$

$$\text{Diferencia}_{\text{logaritmica}} = \frac{\text{DIFERENCIA}_1 - \text{DIFERENCIA}_2}{\ln \left[ \frac{\text{DIFERENCIA}_1}{\text{DIFERENCIA}_2} \right]} \quad \text{Diferencia logaritmica del refrigerante R-134a}$$

Resistencia por conductividad Termica de la tuberia de vapor

$$\text{Diametro}_{\text{externo,cond}} = D_{\text{Condensador}}$$

Diametro externo de la tuberia del condensador

$$\text{espesor}_{\text{pared,cond}} = 0.000889$$

Espesor de pared de la tuberia interna del condensador

$$\text{Diametro}_{\text{interno,cond}} = \text{Diametro}_{\text{externo,cond}} - 2 \cdot \text{espesor}_{\text{pared,cond}} \quad \text{Diametro interno de la tuberia del condensador}$$

Longitud termica del condensador de vapor

$$\text{Longitud}_{\text{termica,condensador}} = 0.05 \cdot N_{\text{Reynolds,Condensador}} \cdot Pr_{\text{vapor}} \cdot \text{Diametro}_{\text{externo,cond}}$$



### Resistencia por conductividad termica

$$Resist_{conduct,conden} = \frac{\ln \left[ \frac{Diametro_{externo,cond}}{Diametro_{interno,cond}} \right]}{2 \cdot \pi \cdot Longitud_{termica,condensador} \cdot K_{conductividad,inox}}$$

### Resistencia interna del condensador

$$Coeficiente_{global,cond} = \frac{1}{\frac{1}{Coeficiente_{conveccion,externa}} + \frac{1}{Coeficiente_{conveccion,interno}} + Resist_{conduct,conden}}$$

### Coeficiente global de transferencia de calor del condensador de vapor

$$Area_{condensador} = \frac{Potencia_{condensador}}{Coeficiente_{global,cond} \cdot Diferencia_{logaritmica}} \cdot 1000 \quad \text{Area necesaria para condensar el vap}$$

$$Longitud_{condensador} = \frac{Area_{condensador}}{\pi \cdot Diametro_{Hidraulico,R134a}} \quad \text{Longitud del condensador de vapor}$$

### Hallamos la potencia del compresor de la unidad condensadora

$$P_{compresor,condensador} = m_{refrigerante} \cdot (h_{2,ciclo} - h_{1,ciclo})$$

$$P_{compresor,condensador,HP} = \frac{P_{compresor,condensador}}{0.746}$$

### HALLAMOS LA LONGITUD DE INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA ENFRIAR LA SALMUERA DE 80°C HASTA 20°C

#### 1.- HALLAMOS EL NUMERO DE REYNOLDS DE LA SALMUERA DE INGRESO AL ENFRIADOR

$$densidad_{salmuera,80C} = \rho (NACL, T = T_{salmuera,80}, C = C_{salmuera,80}) \quad \text{Densidad de la salmuera a 80 C}$$

$$T_{salmuera,80} = T_{salida,salmuera}$$

$$C_{salmuera,80} = Concentracion_1$$

$$velocidad_{salmuera,80} = \frac{m_{salmuera,salida}}{densidad_{salmuera,80C} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_{tuberia,enfriador}^2} \quad \text{Velocidad de la salmuera en el enfriador}$$

$$viscocida_{salmuera,80} = Visc (NACL, T = T_{salmuera,80}, C = C_{salmuera,80})$$

$$Reynolds_{salmuera,80} = \frac{densidad_{salmuera,80C} \cdot velocidad_{salmuera,80} \cdot D_{tuberia,enfriador}}{viscocida_{salmuera,80}} \quad \text{Numerod de Reynolds del enfriador}$$

#### 2.-HALLAMOS EL COEFICIENTE DE CONVECCION PARA UN FLUIDO LIQUIDO EN TRANSICION

##### 2.1.-COEFICIENTE DE CONVECCION DE FLUJO LAMINAR PARA SALMUERA A 80 C

##### DATOS DE LA SALMUERA

$$k_{salmuera,80} = k (NACL, T = T_{salmuera,80}, C = C_{salmuera,80}) \quad \text{Coeficiente de conductividad termica de la salmuera a80C}$$

$$Pr_{salmuera,80} = Pr (NACL, T = T_{salmuera,80}, C = C_{salmuera,80})$$

##### Numero de prantl de la salmuera a 80C

$$viscocidad_{critica,80} = Visc (NACL, T = T_{salmuera,80}, C = C_{salmuera,80}) \quad \text{Viscocidad critica de la salmuera a 80C}$$

$$viscocidad_{actual,80} = Visc (NACL, T = T_{salmuera,90}, C = C_{salmuera,80}) \quad \text{Viscocidad actual del condensador}$$

$$viscocidad_{actual,80} = Viscocidad_{actual,enfriador}$$

Reemplazando en la ecuación para el coeficiente convectivo

$$\text{coeficiente}_{\text{convectR134,enfriador}} = 0.023 \cdot \frac{K_{\text{conduktividad,10C}}}{\text{diametro}_{\text{Hidraulico,enfriador}}} \cdot \text{REYNOLDS}_{\text{R134,enfriador}}^{0.8} \cdot \text{Prandl}_{\text{R134,10C}}^{0.4} \cdot (3.2 \cdot Y_{\text{enfriador}} + 1)$$

Hallamos la longitud del enfriador

$$\text{temp}_{\text{entra,salmuera,enfriador}} = T_{\text{salida,salmuera}}$$

Temperatura de entrada de la salmuera al enfriador

$$\text{temp}_{\text{sal,refri,enfriador}} = T_{\text{Condensador,enfriador}}$$

Temperatura de salida de salida del refrigerante del enfriador

$$\text{temp}_{\text{sal,salmuera,enfriador}} = T_{20}$$

Temperatura de salida de la salmuera al enfriador

$$\text{temp}_{\text{entra,refri,enfriador}} = T_{\text{Evaporador,enfriador}}$$

Temperatura de entrada del refrigerante, al enfriador

$$\text{difer}_{\text{temp,1,enfriador}} = \text{temp}_{\text{entra,salmuera,enfriador}} - \text{temp}_{\text{sal,refri,enfriador}}$$

$$\text{difer}_{\text{temp,2,enfriador}} = \text{temp}_{\text{sal,salmuera,enfriador}} - \text{temp}_{\text{entra,refri,enfriador}}$$

Diferencia de temperatura logarítmica

$$\text{dif}_{\text{temp,logaritmica,enfriador}} = \frac{\text{difer}_{\text{temp,1,enfriador}} - \text{difer}_{\text{temp,2,enfriador}}}{\ln \left[ \frac{\text{difer}_{\text{temp,1,enfriador}}}{\text{difer}_{\text{temp,2,enfriador}}} \right]}$$

Coficiente global de temperatura

Resistencia del tubo interno del enfriador

$$\text{diametro}_{\text{ext,enfriador}} = D_{\text{tuberia,enfriador}}$$

Diametro interno del intercambiador de calor de la salmuera

$$\text{diametro}_{\text{inter,enfriador}} = \text{diametro}_{\text{ext,enfriador}} - 2 \cdot \text{espesor}_{\text{tuberia,enfriador}} \quad \text{Diametro nominal interno de la tubería del enfriador}$$

Longitud termica de entrada

$$\text{longitud}_{\text{termica,enfriador}} = 0.05 \cdot \text{Reynolds}_{\text{salmuera,80}} \cdot \text{Pr}_{\text{salmuera,80}} \cdot \text{diametro}_{\text{Hidraulico,enfriador}} \quad \text{Longitud termica de la salmuera del enfriador}$$

coeficiente Y para hallar el coeficiente convectivo

$$P_{\text{Baja}} = P_{\text{sat}} (\text{R134a}, T = T_{\text{Evaporador,enfriador}}) \quad \text{Presion de Baja}$$

$$P_{\text{Alta}} = P_{\text{sat}} (\text{R134a}, T = T_{\text{Condensador,enfriador}}) \quad \text{Presion de Alta}$$

$$\text{presion}_{\text{R134,critica,10C}} = P_{\text{Baja}}$$

$$P_{\text{Actual,Evaporador}} = P_{\text{sat}} (\text{R134a}, T = T_{\text{Actual,Evaporador}})$$

Presion actual del sistema

$$\text{presion}_{\text{actual,evaporador}} = P_{\text{Actual,Evaporador}}$$

$$\text{peso}_{\text{molecular}} = \text{MolarMass} (\text{R134a})$$

Peso molecular del Refrigerante R-134a en el enfriador

$$Y_{\text{enfriador}} = \left[ \frac{\text{calidad}_{\text{R134,enfriador}}}{1 - \text{calidad}_{\text{R134,enfriador}}} \right]^{0.75} \cdot \left[ \frac{\text{presion}_{\text{actual,evaporador}}}{\text{presion}_{\text{R134,critica,10C}}} \right]^{\left[ \frac{-3}{8} \right]} \cdot \text{peso}_{\text{molecular}}^{(1/8)}$$

Viscosidad actual de la salmuera del condensador

$T_{\text{salmuera},90} = \text{Temperatura}_{\text{actual},\text{enfriador}}$

$C_{\text{salmuera},90} = \text{Concentracion}_{\text{actual},\text{enfriador}}$

$\text{Longitud}_{\text{termica},80} = 0.05 \cdot \text{Reynolds}_{\text{salmuera},80} \cdot Pr_{\text{salmuera},80} \cdot D_{\text{tuberia},\text{enfriador}}$  Longitud termica del condensador

$$\text{coeficie}_{\text{convec},\text{laminar},80} = 23.82 \cdot \frac{k_{\text{salmuera},80}}{D_{\text{tuberia},\text{enfriador}}} \cdot \left[ Pr_{\text{salmuera},80} \cdot \frac{D_{\text{tuberia},\text{enfriador}}}{\text{Longitud}_{\text{termica},80}} \right]^{(1/3)} \cdot \left[ \frac{\text{viscosidad}_{\text{actual},80}}{\text{viscosidad}_{\text{critica},80}} \right]^{0.14}$$

Coefficiente de conveccion laminar

2.2.-COEFICIENTE DE CONVECCION DE FLUJO TURBULENTO DE LA SALMUERA A 80 C

$$\text{coeficie}_{\text{convec},\text{turbulento},80} = 42.79 \cdot \frac{k_{\text{salmuera},80}}{D_{\text{tuberia},\text{enfriador}}} \cdot Pr_{\text{salmuera},80}^{(1/3)} \cdot \left[ \frac{\text{viscosidad}_{\text{actual},80}}{\text{viscosidad}_{\text{critica},80}} \right]^{0.14}$$
 Coeficiente de conveccion turbulento

2.3.-COEFICIENTE DE CONVECCION DE LA SALMUERA A 80 C

$$\text{coefici}_{\text{convec},\text{salmuer},80} = \left[ \frac{\text{coeficie}_{\text{convec},\text{turbulento},80} - \text{coeficie}_{\text{convec},\text{laminar},80}}{7900} \right] \cdot \text{Reynolds}_{\text{salmuera},80} + \frac{10000 \cdot \text{coeficie}_{\text{convec},\text{laminar},80} - 2100 \cdot \text{coeficie}_{\text{convec},\text{turbulento},80}}{7900}$$

2.3.-COEFICIENTE DE CONVECCION PARA EL REFRIGERANTE R-134a

$h_{3,\text{ciclo},\text{unidad},\text{condensadora}} = h_{4,\text{ciclo},\text{unidad},\text{condensadora}}$

$$m_{\text{refrigerante},\text{enfriador}} = \frac{\text{Potencia}_{\text{del},\text{enfriador}}}{h_{1,\text{ciclo},\text{unidad},\text{condensadora}} - h_{4,\text{ciclo},\text{unidad},\text{condensadora}}}$$

numero de reynolds

$\text{diametro}_{\text{interior},\text{enfriador}} = D_{\text{tuberia},\text{enfriador}}$

$\text{diametro}_{\text{hidraulico},\text{enfriador}} = \text{diametro}_{\text{exterior},\text{enfriador}} - \text{diametro}_{\text{interior},\text{enfriador}}$  Diametro hidraulico del enfriador

$$\text{velocidad}_{\text{R134a},\text{enfriador}} = \frac{m_{\text{refrigerante},\text{enfriador}}}{\text{densidad}_{\text{R134a},\text{enfriador},10\text{C}} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \text{diametro}_{\text{hidraulico},\text{enfriador}}^2}$$
 Velocidad del R134 a del enfriador

$$\text{REYNOLDS}_{\text{R134},\text{enfriador}} = \frac{\text{densidad}_{\text{R134a},\text{enfriador},10\text{C}} \cdot (1 - \text{calidad}_{\text{R134},\text{enfriador}}) \cdot \text{velocidad}_{\text{R134a},\text{enfriador}} \cdot \text{diametro}_{\text{hidraulico},\text{enfriador}}}{\text{viscosidad}_{\text{actual},\text{enfriador},80}}$$
 Numero de Reynolds del enfriador

$$\text{Resis}_{\text{conduc},\text{term},\text{enfriador}} = \frac{\ln \left[ \frac{\text{diametro}_{\text{ext},\text{enfriador}}}{\text{diametro}_{\text{inter},\text{enfriador}}} \right]}{2 \cdot \pi \cdot \text{longitud}_{\text{termica},\text{enfriador}} \cdot K_{\text{conductividad},\text{termica},\text{A316}}}$$

Resistencia debido a la conductividad termica

$$\text{Coefici}_{\text{global},\text{enfriador}} = \frac{1}{\frac{1}{\text{coeficien}_{\text{convec},\text{R134},\text{enfriador}}} + \frac{1}{\text{coefici}_{\text{convec},\text{salmuer},80}} + \text{Resis}_{\text{conduc},\text{term},\text{enfriador}}}$$

Coefficiente global de transferencia de calor

Area necesaria del intercambiador de calor

$$\text{Area}_{\text{enfriador}} = \frac{\text{Potencia}_{\text{del},\text{enfriador}}}{\text{Coefici}_{\text{global},\text{enfriador}} \cdot \text{dif}_{\text{temp},\text{logaritmica},\text{enfriador}}} \cdot 1000$$



### Longitud del intercambiador de calor

$$\text{Longitud}_{\text{enfriador}} = \frac{\text{Area}_{\text{enfriador}}}{\pi \cdot \text{diametro}_{\text{Hidraulico, enfriador}}}$$

### Longitud necesaria del enfriador de salmuera de 80C-20C

### Hallamos la potencia del compresor de la unidad condensadora

$$P_{\text{compresor, enfriador}} = m_{\text{refrigerante, enfriador}} \cdot (h_{2, \text{ciclo, unidad, condensadora}} - h_{1, \text{ciclo, unidad, condensadora}})$$

$$P_{\text{compresor, enfriador, HP}} = \frac{P_{\text{compresor, enfriador}}}{0.746}$$

### Calculo de condensador

$$m_{\text{de, vapor, a, condensar}} = m_{\text{vapor}}$$

$$T_{\text{vapor, a, condensar}} = T_3$$

$$x_{\text{vapor}} = 1$$

$$x_{\text{condensado}} = 0$$

$$h_{\text{del, vapor}} = h_3$$

$$h_{\text{del, condensado}} = h(\text{water}, T = T_3, x = x_{\text{condensado}})$$

$$\text{densidad}_{90, \text{C}} = \rho(\text{water}, T = T_3, x = x_{\text{condensado}})$$

$$m_{\text{masico, condensado}} = m_{\text{de, vapor, a, condensar}} \cdot \frac{h_{\text{del, vapor}}}{h_{\text{del, condensado}}}$$

$$Q_{\text{caudal, condensado}} = \frac{m_{\text{masico, condensado}}}{\text{densidad}_{90, \text{C}}} \cdot 1000 \cdot 60$$

